

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento
integral en función de la disponibilidad de los equipos
de los procesos de chancado y molienda en una
planta minera, 2021**

Ivan Augusto Romero Montalico

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Lima, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jersoon Jesús Lazo Huaynalaya
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 16 de Noviembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:
PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LOS PROCESOS DE CHANCADO Y MOLIENDA EN UNA PLANTA MINERA, 2021

Autores:
1. IVAN AUGUSTO ROMERO MONTALICO – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (10): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

Agradecimiento

A nuestros docentes de la Universidad y asesor de trabajo de investigación que, a lo largo de este tiempo, nos han venido compartiendo sus conocimientos y experiencias, para alcanzar nuestras metas y propósitos.

Dedicatoria

A mi esposa e hijos, que son la razón de todo el esfuerzo realizado para avanzar, siempre me han dado fuerza y apoyo en todos mis sueños y metas a través de su guía y ejemplo. A mis amigos y familiares: gracias por animarme siempre a alcanzar mis metas, echarme una mano cuando las cosas se ponían difíciles, ayudarme con mis estudios y mostrarme un amor incondicional cada día.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice de Contenido	vi
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii
Capítulo I	15
Planteamiento del Estudio	15
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema.....	15
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Hipótesis y Descripción de Variables	17
1.4.1. Hipótesis General.....	17
1.4.2. Hipótesis Específicas	17
1.4.3. Variable Dependiente.....	18
1.4.3.1. Disponibilidad de los Equipos	18
1.4.4. Variable Independiente	18
1.4.4.1. Gestión de Mantenimiento Integral.....	18
1.4.5. Operacionalización de Variables	18
Capítulo II	20
Marco Teórico	20
2.1. Antecedentes de la Investigación	20
2.1.1. Nacionales.....	20
2.1.2. Internacionales	21
2.2. Bases Teóricas	23
2.2.1. Mantenimiento	23
2.2.2. Tipos de Mantenimiento	24
2.2.3. Gestión de Mantenimiento.....	25
2.2.4. Gestión de Mantenimiento Integrado: Industria 4.0	25
2.2.5. Indicadores del Mantenimiento.....	27

2.2.5.1. Disponibilidad (D)	27
2.2.5.2. MTTR	28
2.2.5.3. Fiabilidad	28
2.2.5.4. Tiempo Medio entre Paradas	28
2.2.6. Equipo del Proceso de Chancado.....	29
2.2.7. Equipos del Proceso de Molienda.....	29
2.2.8. Planta Minera.....	30
2.2.9. Procesos Mineros.....	30
2.2.10. Mejoramiento Continuo	32
2.3. Definición de Términos Básicos	33
Capítulo III.....	34
Metodología	34
3.1. Nivel de Investigación	34
3.2. Tipos de Investigación.....	34
3.3. Alcance de la Investigación.....	34
3.4. Diseño de la Investigación	35
3.5. Población y Muestra	35
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	36
Capítulo IV	38
Resultados y Discusión	38
4.1. Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información	38
4.1.1. Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento aplicado en la empresa a los equipos de los procesos de chancado y molienda según los principios de la gestión del mantenimiento integral, en una planta minera, 2021	38
4.1.2. Deficiencias de la gestión de mantenimiento de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera, 2021	40
4.1.3. Comportamiento de la Disponibilidad de los Equipos de los Procesos de Chancado y Molienda en una Planta Minera, 2021	43
4.2. Discusión de Resultados	48
4.3. Rediseño de la Gestión de Mantenimiento Integral en Función de la Disponibilidad de los Equipos de los Procesos de Chancado y Molienda en una Planta Minera, 2021	50
4.3.1. Elaboración de un Expediente por cada Equipo donde se Detalle Historial de Fallas	51
4.3.2. Modificar los Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo y todas las Actividades Involucradas.....	53
4.3.2.1. Gestión de Mantenimiento Preventivo.....	53

4.3.2.2. Gestión de Abastecimiento de Recursos	55
4.3.3. Determinar los KPI de la Gestión de Mantenimiento	56
Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Lista de Referencias	60
Anexos	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	19
Tabla 2. Equipos de los procesos de chancado y molienda como parte de la población del estudio	35
Tabla 3. Criterios para la interpretación de los resultados del cuestionario.....	37
Tabla 4. Resultados del diagnóstico del mantenimiento actual aplicado, en función a los requisitos de una gestión de mantenimiento integral.....	38
Tabla 5. Causas que afectan la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda que generan deficiencias en la gestión de mantenimiento.....	41
Tabla 6. Fallas registradas durante el período de estudio de los equipos de los procesos de chancado y molienda	42
Tabla 7. Tiempo medio entre paradas por fallas en los equipos observados	43
Tabla 8. Fiabilidad de los equipos de chancado y molienda, objeto de estudio.....	45
Tabla 9. Valores de la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda objeto de estudio, para el período enero-diciembre de 2021	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura para el sistema de mantenimiento integrado	26
Figura 2. Equipo del proceso de chancado	29
Figura 3. Molino SAG, para moliendas de minerales rocosos.....	30
Figura 4. Estructura interna de una chancadora	31
Figura 5. Partes de un molino de bolas para la molienda de minerales	31
Figura 6. Ciclo de mejoramiento continuo.....	32
Figura 7. Personal integrante de la población del estudio.....	36
Figura 8. Comportamiento gráfico de las dimensiones asociadas con una gestión de mantenimiento integral, aplicada al mantenimiento actual aplicado en la empresa .	39
Figura 9. Diagrama de Pareto sobre la deficiencia de la gestión de mantenimiento.....	42
Figura 10. Estructura del rediseño de la Gestión de Mantenimiento	51
Figura 11. Ítems del expediente de mantenimiento de los equipos.....	52
Figura 12. Actividades en la construcción, historial de las fallas de las máquinas.....	52
Figura 13. Distribución estadística Erlang para hallar probabilidad de ruptura o falla	54
Figura 14. Método de generación	54
Figura 15. Distribución del desgaste para un repuesto	54
Figura 16. Flujograma del proceso de mantenimiento preventivo.....	56

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo proponer la mejora de la gestión de mantenimiento integral, en función de la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera en el año 2021, para ello, se empleó la metodología de una investigación aplicada debido al uso de conocimientos adquiridos para abordar la problemática de la disponibilidad de los equipos, utilizando un diseño cuasi experimental. La población estuvo conformada por el personal de los procesos de chancado, molienda y de mantenimiento, para un total de 15 trabajadores y los 18 equipos empleados en estos procesos. No se aplicó muestreo debido a que se trabajó con toda la población. Las técnicas de recogida de datos fueron la observación directa, la revisión documental y la encuesta. Como instrumentos se aplicó el registro de observaciones, el registro documental y el cuestionario de preguntas con escala tipo Likert. Los resultados se plasmaron en tablas y gráficos, junto con un análisis, se aplicó estadística sintética, descriptiva e inferencial. Los hallazgos permitieron presentar una propuesta de mejora enfocada a la gestión de mantenimiento integral para el mejoramiento de la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera en el 2021.

Palabras claves: chancado, disponibilidad, mantenimiento integrado, molienda, planta minera

Abstract

The objective of this research was to propose the application of comprehensive maintenance management to improve the availability of crushing and grinding equipment in a mining plant, 2021, for which the methodology of an applied research was used due to the use of acquired knowledge. to address the issue of equipment availability, using a quasi-experimental design. The population was made up of personnel from the crushing and grinding and maintenance area, a total of fifteen, and the eighteen teams used in the crushing and grinding processes, where sampling was not applied because the entire population was worked on. The data collection techniques were direct observation, documentary review and survey, and the instruments used were the observation record, the documentary record, and the questionnaire with Likert-type scale questions. The results were captured in tables and graphs, as well as their discourse, which were analyzed synthetically and inferentially. All of which allowed us to present a solution proposal based on the application of comprehensive maintenance management to improve the availability of crushing and grinding equipment in a mining plant, 2021.

Keywords: availability, comprehensive maintenance, crushing, grinding, statistics

Introducción

El mantenimiento de maquinarias y equipos es una actividad que se ha venido aplicando con gran preponderancia a nivel industrial. Surgió a partir de la primera revolución industrial, durante el inicio de la segunda mitad del siglo XVIII en Inglaterra, con la finalidad de abordar deficiencias en la operatividad y rendimiento de estos, con el fin de asegurar la disponibilidad efectiva de cada elemento de los procesos de transformación y, de esta manera, disminuir los costos asociados con los procesos (1).

En este orden de ideas, el sector minero posee sistemas, maquinarias y equipos propios, que ameritan ser objeto de un mantenimiento minucioso y estructurado, como es el caso de la planta minera, durante el año 2021, donde los procesos de chancado y molienda han venido presentando fallas intempestivas que afecta el indicador de disponibilidad, por lo tanto, reduce el rendimiento de las demás etapas del proceso. En tal sentido, detectó la necesidad de contar con una gestión de mantenimiento integral, para asegurar una operatividad continua de estos equipos.

En concordancia con lo expuesto, esta problemática se fundamenta en el desarrollo teórico que tiene como punto de partida la construcción referencial de los aspectos característicos de las variables en estudio como la gestión de mantenimiento integrado y la disponibilidad de los equipos para los procesos de chancado y molienda, así como también los aspectos propios de los costos involucrados. Todo ello, está apoyado en publicaciones científicas, libros de texto y en trabajos referenciales desarrollados en la misma línea de investigación.

Es significativo señalar que investigaciones anteriores han abordado esta cuestión; a escala mundial, la investigación de Percy (2) se llevó a cabo con el objetivo de mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea sin orugas propiedad de Gestión Minera Integral SAC, Gasca. Camargo y Medina (3) ofrecieron en su trabajo normas de evaluación similares sobre la fiabilidad de equipos industriales cruciales. Gómez (4) sugirió utilizar el sistema SAP para mejorar la gestión del mantenimiento de los equipos de chancado, molienda, flotación, filtrado y relaves de la planta de beneficio de la empresa minera Ares. Del mismo modo, Cabrera et al., (5) desarrollaron una publicación, cuyo objeto fue la implementación de protocolos para el mejoramiento del nivel de disponibilidad técnica en los procesos de producción. Finalmente, Berger et al. (6) publicaron un artículo que tuvo como propósito, exponer los modelos que se emplearon en el proceso de molienda.

En cuanto a las investigaciones nacionales, se puede mencionar a Calderón (7), quien realizó un trabajo que tuvo como objeto establecer las reglas para la implementación de una política de mantenimiento en una compañía de servicios IT. Igualmente, Estupiñán y Cordero (8) plantearon como propósito alcanzar un nivel de disponibilidad para los equipos de la planta del 95 %, así como también, disminuir los costos asociados al mantenimiento. De igual forma, Guerra y Montes de Oca (9) realizaron un estudio con el propósito de establecer la relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero que se utiliza en la minería a cielo abierto a gran escala, partiendo del análisis de su desempeño bajo condiciones concretas de explotación. Asimismo, Ramírez et al. (10) llevaron a cabo un artículo, fijando como propósito la aplicación de un sistema basado en el RCM, para diagnosticar el nivel de efectividad y eficiencia de los procedimientos, para el funcionamiento de una organización. Por último, Rojas (11) realizó un estudio con el propósito de llevar a cabo una propuesta de gestión del cambio con el fin de poner en marcha un plan de mejoramiento continuo de la productividad.

Con base en lo anterior, el objetivo principal de este trabajo fue sugerir el uso de la gestión integrada del mantenimiento para aumentar la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda en una planta minera en 2021. Para ello, se creó una estructura de seis capítulos, donde el enfoque del estudio aparece en el primero, el marco teórico en el segundo, la metodología de investigación en el tercero, y los resultados y discusión en el cuarto capítulo. Las recomendaciones, los anexos, la lista de referencias y las conclusiones constituyen las últimas secciones.

Capítulo I

Planteamiento del Estudio

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

A nivel mundial, en todos los procesos de transformación de materiales básicos en productos terminados, es de suma importancia considerar todas las funciones, los elementos y factores que intervienen. En tal sentido, para lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos, con el mayor beneficio económico posible y conservando la calidad, se han llevado a cabo métodos, técnicas, estrategias y modelos de gestión, con la finalidad de minimizar todos los costos de producción.

Por lo tanto, la función de mantenimiento dentro de todos los procesos productivos es brindar soporte a otras operaciones con el mismo grado de importancia como la producción de bienes o la prestación de un servicio. En tal sentido, para el caso especial de los procesos mineros, contar con una gestión efectiva, eficiente y eficaz que garantice la disponibilidad de las maquinarias y equipos, provee a la organización de un recurso importante para mitigar los efectos de los altos costos operativos y la baja competitividad de la empresa (12 p. 5).

Sin duda alguna, los procesos mineros implican diversas actividades que se encuentran estructuradas de forma lógica y que deben cumplir un flujo normal con la mayor continuidad posible, evitando las interrupciones intempestivas, los incumplimientos por diversas fallas o no conformidades. Es por lo que la disponibilidad de maquinarias y equipos en los diferentes procesos y subprocesos deben ser objeto de continuo monitoreo para lograr que su funcionalidad no «caiga» a niveles por debajo de los indicadores esperados por la organización (13 p. 104).

Es importante puntualizar, que la minería se encuentra diversificada en siete etapas que incluyen un orden precedente, que inicia con la extracción perforación y voladura, seguido del procesamiento con los subprocesos de carguío y acarreo, chancado, la molienda, flotación, transporte al mineroducto, luego la fundición y, por último, refinación o filtrado (14 pp. 12-23).

La presente investigación se desarrolló en la empresa minera «Sierra Gorda», ubicada en la región de Antofagasta. A finales del año 2021, la producción en concentrado de cobre y molibdeno se ubicó en un procesamiento diario de 115 000 y 108 000 toneladas al año respectivamente, pero en la dinámica de control en los procesos se han reportado problemas en el área de mantenimiento, al registrar durante los últimos seis meses del 2021, una disponibilidad promedio del 90 % en sus equipos.

Dichos problemas están centrados en cuanto a la inoperatividad de las máquinas, lo que trae como consecuencia la detención de las operaciones de producción, derivando incremento en los costos de producción, incumplimientos de contratos con los clientes, paradas de planta no programadas, accidentes, problemas ecológicos y desviaciones presupuestarias. Todo esto ocasionado por la deficiente gestión de mantenimiento preventivo y correctivo.

Por tal motivo, se formula la problemática del estudio de manera general con la siguiente interrogante: ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para la mejora de la gestión de mantenimiento integral en función de accionar positivamente en la disponibilidad de los equipos en los procesos de chancado y molienda en planta minera, 2021? De igual forma, para la formulación de la problemática de manera específica se establecen las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la situación actual del mantenimiento aplicado en la empresa a los equipos de los procesos de chancado y molienda según los principios de la gestión del mantenimiento integral en una planta minera, 2021?
2. ¿Cómo es el comportamiento de la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda en una planta minera, 2021?
3. ¿Qué aspectos debe contener la gestión de mantenimiento integrar para influir de forma positiva en la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera, 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer la mejora de la gestión de mantenimiento integral en función de la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera, 2021.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la situación actual del mantenimiento aplicado en la empresa a los equipos de los procesos de chancado y molienda en la planta minera, 2021.
2. Analizar el comportamiento de la disponibilidad de los equipos de los procesos chancado y molienda en una planta minera, 2021.
3. Rediseñar la gestión de mantenimiento integral que mejore la disponibilidad de los equipos de los procesos chancado y molienda en una planta minera, 2021.

1.3. Justificación

Esta investigación se desarrolla con el objetivo de aumentar la disponibilidad de equipos en los procesos de chancado y molienda, a través de una mejora en la gestión de mantenimiento de la empresa, con lo cual se le daría solución a la problemática de la gestión inadecuada de mantenimiento existente en la actualidad en la organización. Es por lo que se desea aplicar estrategias específicas de mejoramiento continuo y control de costos, para lograr el máximo beneficio para la organización. En tal sentido, al contar con un nivel significativo y provechoso de los equipos, así como también, tener a la mano lineamientos para reducir las fallas de los equipos se aumentará la confiabilidad como la productividad de la planta minera.

1.4. Hipótesis y Descripción de Variables

1.4.1. Hipótesis General

Con la mejora de la gestión de mantenimiento integral se influirá de forma positiva en la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera, 2021.

1.4.2. Hipótesis Específicas

1. Al diagnosticar la gestión de mantenimiento se puede conocer la situación actual de los equipos de los procesos de chancado y molienda de la planta minera, 2021.

2. Al analizar el comportamiento de la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera, 2021, se puede diseñar la gestión de mantenimiento integral.
3. Al diseñar la gestión de mantenimiento integral se puede proponer mejoras para la disponibilidad de los equipos de los procesos chancado y molienda en una planta minera, 2021.

1.4.3. Variable Dependiente

1.4.3.1. Disponibilidad de los Equipos

Según Flores et al. (15) se trata de un valor matemático que puede facilitar el monitoreo secuencial del funcionamiento productivo de un equipo o sistema, en relación con la continuidad de la función de trabajo operativo, el cual se representa de manera porcentual y no depende de la rapidez de respuesta de este (p. 13).

1.4.4. Variable Independiente

1.4.4.1. Gestión de Mantenimiento Integral

Según Escaño y Andrade (16), se trata de un compendio estructurado y sistematizado que abarca actividades de manera conjunta, relacionadas con la planificación, dirección y control de las inspecciones, notificaciones, órdenes de trabajo, mantenimiento preventivo y correctivo. De la misma forma, contempla la documentación, la respuesta efectiva sobre una problemática y la gestión de activos de la organización (p. 169).

1.4.5. Operacionalización de Variables

Para permitir una comprensión clara, las variables se operacionalizan desglosándolas en los elementos que las componen y presentándolas en una tabla. Se pretende que el lector comprenda, a partir del proceso de operacionalización, cómo se han conceptualizado, operacionalizado y tratarán las variables desde una perspectiva estadística (17).

En la tabla 1 se presenta la operacionalización de las variables del estudio.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operaciones	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
Variable independiente Gestión de mantenimiento integral	Se trata de un compendio estructurado y sistematizado que abarca actividades de manera conjunta, relacionadas con la planificación, dirección y control de las inspecciones, notificaciones, órdenes de trabajo, mantenimiento preventivo, correctivo y conservativo. De la misma forma, contempla la documentación, la respuesta efectiva sobre una problemática y la gestión de activos de la organización (16).	Es un tipo de mantenimiento que integra las actividades de planificación, la dirección y el control de las actividades preventivas, correctivas y conservativas para garantizar la mantenibilidad y la confiabilidad de los equipos o activos de una organización	Gestión	Tasa de planificación	Nominal
			Auditoría	Tasa de realización	Nominal
			Índices	Eficiencia de los procesos \$ de Mantenibilidad % de Confiabilidad % de problemas	Nominal/Racional
			Plan de intervención	% de acciones correctivas	Nominal
Variable dependiente: Disponibilidad de los equipos	La disponibilidad es la propiedad de un activo de estar al alcance del proceso para lograr los objetivos planteados en base al 100 %.	Se trata de un rango de tiempo que utiliza un equipo como activo de una organización, que funciona de forma satisfactoria dentro de un proceso, comprendido entre el tiempo medio entre paradas y la fiabilidad	Tiempo medio entre paradas	$TMEP = \frac{HTP}{NP}$ Donde: TMEP = tiempo medio entre paradas HTP = horas totales de producción NP = número de paradas	Racional
			Fiabilidad	$\frac{TPP - TTMNP}{TPP} \times 100$ En donde: F = fiabilidad TPP = tiempo de producción programada TTMNP = tiempo total mantenimiento no programado	Racional

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Nacionales

Percy (2) en su investigación tuvo como propósito el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea (*trackless*) de la empresa Gestión Minera Integral SAC. Se estableció una metodología basada en un estudio descriptivo, aplicado y explicativo, con una población formada por 18 equipos de perforación donde no se aplicó muestreo, por lo que se empleó la totalidad de esta. Se utilizaron como técnicas la observación directa y encuesta. Como instrumentos, el cuestionario y el registro de fotos. La principal conclusión de los resultados fue la producción de averías continuas en los distintos sistemas de los equipos, que provocan paradas imprevistas y una disminución de la disponibilidad mecánica. Esto permitió crear una propuesta de programa de mantenimiento preventivo, que se verificará mediante el uso de cuadernillos de mantenimiento basados en el tipo y la frecuencia de las averías antes de introducirlos en el folio correspondiente.

Asimismo, Gasca et al. (3) plantearon como objeto aportar criterios específicos de evaluación sobre la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial. La metodología se fundamentó en un diseño experimental, empleando un documento analítico para la criticidad de equipos, evaluando intensidad sobre la repetición de cada falla. Los resultados mostraron la identificación codificada de los equipos de producción de la empresa, se pudo precisar el índice de criticidad de cada uno de estos, procediendo con su clasificación con categorías de alta, media o baja criticidad.

En una línea similar, Gómez (4) se planteó como objetivo aumentar la disponibilidad de los equipos de chancado, molienda, flotación, filtrado y relaves de la planta de beneficio de la empresa minera Ares, mejorando la gestión del mantenimiento mediante el uso del sistema SAP. El enfoque desarrolló una investigación de campo y documental, utilizando un diseño de estudio descriptivo no experimental. La observación directa, las encuestas y la revisión de documentos fueron los métodos empleados. El formulario de observación, los registros documentales del sistema SAP y el cuestionario constituyeron las herramientas de recogida de datos. Las principales conclusiones demostraron que se realizaban compras duplicadas y que las reparaciones no se registraban en el inventario, lo que aumentaba el valor de éste y, en última instancia, incrementaba los costes de mantenimiento en los últimos años. Finalmente, se presentó una propuesta de gestión para mejorar el rendimiento del área de mantenimiento, aumentando la disponibilidad de los equipos al 97,78 %, un porcentaje superior al objetivo del año anterior, que era del 96 %.

En este mismo orden de ideas, Cabrera et al. (5) desarrolló una publicación, cuyo objeto fue la implementación de protocolos para el mejoramiento del nivel de disponibilidad técnica en los procesos de producción. Se empleó como metodología el análisis sistemático mediante listas de control, donde se identifican los equipos que presentaron falencias y lo que facilitó el cálculo de disponibilidad. Los resultados aportaron las bases para el mejoramiento de la disponibilidad con acciones planeadas de mantenimiento, elevando la eficiencia, con un entrenamiento especializado del personal y con la aplicación de técnicas digitales para el control de procesos.

Por su parte, Berger et al. (6) publicaron un artículo que tuvo como propósito exponer los modelos que se emplearon en el proceso de molienda, con el fin de determinar el nivel de confiabilidad del sistema. La metodología aplicada fue el análisis de criticidad, que facilitó la identificación y descripción de los motores del sistema de molienda críticos, el análisis de modo y efecto de fallos para estructurar un documento tabulado con los datos sobre la confiabilidad del mantenimiento. Los resultados, permitieron mostrar que a través de dicho análisis se puede desarrollar una herramienta que impulse un monitoreo operativo de los motores del sistema de molienda, que se emplean en el día a día en las operaciones regulares.

2.1.2. Internacionales

En la investigación de Calderón (7) se planteó como objetivo establecer las reglas para la implementación de una política de mantenimiento en una compañía de

servicios IT. En la metodología se priorizó la determinación y análisis del nivel de seguridad humana, la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos de mayor criticidad, con la definición de mediciones para la planeación, programación, ejecución y control de las funciones y actuaciones implícitas en el proceso. El estudio presentó un enfoque cuantitativo midiendo de manera global, el impacto del comportamiento en la empresa. Como conclusión, se precisó que el método empleado facilita la obtención de un conocimiento muy bien estructurado sobre la operatividad de los equipos, por lo tanto, es posible diseñar un plan de mantenimiento integrado, para incrementar la confiabilidad y la reducción de los costos de mantenimiento.

De forma similar, Estupiñán y Cordero (8) estudiaron una empresa minera en Chile con el objetivo de reducir los costes de mantenimiento y alcanzar un nivel de disponibilidad del 95 % para los equipos de la planta. La metodología utilizada fue FMECA-RCM, y se desarrolló en cuatro etapas diferenciadas: contexto del equipo, análisis funcional, identificación de modos de falla, y efectos y consecuencias de una falla. Por último, se completó la jerarquía de riesgos, lo que permitió una aplicación práctica de la metodología RCM. Como resultado, se descubrió que la disponibilidad de la planta era solo del 85 %, siendo el refrigerador 1 el equipo más crucial. Este hallazgo impulsó la creación de una propuesta de optimización para el mantenimiento

Por su parte Guerra y Montes de Oca (9) a partir del examen del rendimiento de los equipos en determinadas condiciones de explotación, se realizaron un estudio para determinar la relación entre productividad, mantenimiento y sustitución de los equipos de gran minería utilizados en la minería a cielo abierto, partiendo del análisis de su desempeño bajo condiciones concretas de explotación. La metodología aplicada se fundamentó en una investigación de campo, aplicando como técnica principal el estudio de caso. En el sexto año de funcionamiento, esta técnica permitió calcular el índice de productividad global de los equipos de carga, acarreo, excavación y bulldozers, respectivamente en 51.72 %, 48.88 % y 55.51 %, se evidenció una disminución de la productividad de los equipos entre el 44 % y el 51 %. Los autores llegaron a la conclusión de que uno de los principales factores que influyen en el descenso del índice de productividad del parque de maquinaria es la disponibilidad técnica, que se ve agravada por el incumplimiento de los programas de mantenimiento. Esto, a su vez, está estrechamente ligado a la selección de la estrategia de adquisición adecuada para cada equipo individual y al calendario de su sustitución.

En la investigación de Ramírez et al. (10) era evaluar el grado de eficacia y eficiencia de los procedimientos operativos de una organización mediante la aplicación de un sistema basado en el RCM. La metodología empleada fue un diseño no experimental y un enfoque cualitativo y descriptivo reforzado por la revisión de documentos técnicos. Los resultados demostraron que las actividades de mantenimiento de los grupos de trabajo podían modificarse completamente para ajustarse a sus horarios diarios, con la creación y aplicación de un plan de mantenimiento basado en la filosofía del RCM como base. Esta técnica permite garantizar la mejora continua del grado de disponibilidad, seguridad y fiabilidad de una empresa, al tiempo que garantiza una buena ejecución del mantenimiento.

Por último, Rojas (11) tuvo como finalidad llevar a cabo una propuesta de gestión del cambio con el fin de poner en marcha un plan de mejoramiento continuo de la productividad, partiendo del análisis de la confiabilidad cualitativa de la planta concentradora. Para esto, se empleó el método de gestión aplicado por John Kotter, con el enfoque R-MES. En los resultados se resalta que no se contaba con una planificación específica que empleara indicadores de desempeño sobre el mantenimiento aplicado, lo que permitió concluir que se necesitaba un control de los componentes que anticipa la ocurrencia de fallas, además que sea un complemento sobre la implementación de compromisos, de igual forma debe contar con un monitoreo por semana con la aplicación de un tablero de desempeño que formará parte de la propuesta de solución.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Mantenimiento

Considerando la perspectiva de Rajadell (18), el mantenimiento es una función propia del proceso de transformación o de servicios donde las maquinarias e infraestructuras, que se encuentran expuestas a presentar determinadas averías por su uso, generando fallos potenciales. El propósito del mantenimiento es lograr la menor probabilidad de parada o inoperatividad aplicando planes o programas específicos, conformado por acciones tanto preventivos o correctivas que garanticen la disponibilidad y confiabilidad.

Por lo que, se puede afirmar que el mantenimiento es una acción necesaria en el cumplimiento de los planes de producción de las empresas, que contribuye con la preservación de la vida útil de la maquinaria utilizada y sobre todo a garantizar el flujo normal de las operaciones.

2.2.2. Tipos de Mantenimiento

El mantenimiento como función a nivel organizacional presenta una clasificación según el propósito que se pretende alcanzar, en este sentido, Rajadell (18), aporta que se tienen de forma general cuatro tipos específicos: correctivo, preventivo, el planificado e integral.

El mantenimiento correctivo tiene como propósito el restablecimiento de una función de un equipo o sistema que ha dejado de operar, por un fallo, avería o por cualquier otra naturaleza, que dependiendo de estas, puede ser de carácter paliativo o emergente con alguna acción inmediata, mientras se aplica una acción técnica definitiva o el denominado curativo que consiste en el restablecimiento de la operatividad de este con acciones definitivas, válidas y confiables.

El segundo tipo de mantenimiento denominado planificado es conocido también como rutinario o periódico, se fundamenta en las evaluaciones previas de funcionamiento del equipo, es decir, depende de un registro histórico de su funcionamiento, donde se conocen las fallas potenciales, los efectos de estas y las acciones que se deben seguir en un determinado momento, con el propósito de adelantarse a la ocurrencia, por lo que es llevado a cabo por personal especialista en la materia.

En el caso del mantenimiento preventivo, se aplican acciones técnicas, en algunos casos de carácter correctivo, con el fin de adelantarse a la ocurrencia de una avería que causen la interrupción o parada intempestiva del mismo, permite evitar el incumplimiento de los objetivos y metas establecidas. En tal sentido, consiste en la detención programada del equipo, del conjunto de estos o del proceso en general, por un tiempo determinado y programado, para realizar una inspección general y así, retirar las piezas o partes ya deterioradas que estén próximas a fallar y sustituirlas por otras adquiridas recientemente o que no hayan sido utilizadas. Por lo general, se hace una vez al año y se decide el momento en la cual la organización tiene el tiempo preciso para el mismo.

Por último, el mantenimiento integral consta de la conjugación de los diversos tipos de mantenimientos conocidos, que se adaptan a las necesidades de un conjunto de equipos que trabajan de forma sincronizada como, por ejemplo, una línea de producción, pero con el uso de equipos y dispositivos electrónicos que agilizan las

actividades de diagnóstico y de realización de las mejoras en la disponibilidad y confiabilidad de estos.

En este mismo contexto, Escaño y Andrade (19) hacen referencia al mantenimiento predictivo, como el que se efectúa con estrategias y herramientas avanzadas y que se enmarca en el denominado paradigma industrial 4.0. Este se fundamenta en el uso de modelos matemáticos, que se construyen utilizando información estadística del comportamiento de los fallos y averías, además de las características y condiciones de operatividad y uso de los equipos, para inferir la ocurrencia de los eventos adversos y así aumentar el nivel de confiabilidad y operatividad de estos. De igual manera, acotan que el mantenimiento integral o integrado, considera la probabilidad de averías o fallos de carácter tanto mecánico como de funcionamiento eléctrico, por lo que el personal que lo realiza, debe ser especialista en ambas disciplinas.

2.2.3. Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento según Herrera, et al (20), consiste en la aplicación de un proceso sistemático que inicia con la planificación de actividades, la organización y distribución de los recursos, la ejecución coordinada de las funciones del personal capacitado y el seguimiento continuo que garantice la medición mediante dispositivos y equipos, que generen valores que indiquen la tendencia cíclica hacia el incremento sostenible de la disponibilidad, la confiabilidad y la productividad de todo el sistema de producción.

Un buen sistema de gestión del mantenimiento garantiza el correcto funcionamiento de la maquinaria del área de producción y permite a la empresa cumplir su objeto social, poniendo así de relieve la importancia del proceso y su papel en la consecución de los objetivos estratégicos.

2.2.4. Gestión de Mantenimiento Integrado: Industria 4.0

Para abordar este enfoque, Herrera, et al (20) refieren que se trata de la integración horizontal entre los sistemas de producción y mantenimiento, con el diseño de estructuras ciberfísicas, mediante el intercambio de datos de forma continua con el sistema real, en pro de optimizar la gestión automatizada. Este proceso se vislumbra como la nueva propuesta de valor relacionada con el mantenimiento, donde el concepto de industria 4.0 o la empresa del futuro, juega un papel fundamental, que proyecta el incremento de la eficiencia a todos los niveles del sistema real y la productividad de la

planta. En este sentido, el uso de los sistemas digitales, la aplicación de modelos matemáticos y el mantenimiento predictivo, tienen como objeto el aumento de la eficiencia y eficacia de los recursos, con la instalación y uso de circuitos lógicos programables (PLC) para la medición y análisis de datos mediante sensores, que anticipen la ocurrencia de fallas potenciales de los equipos. En la figura 1 se aprecia la representación gráfica estructurada de la gestión de mantenimiento integrado.

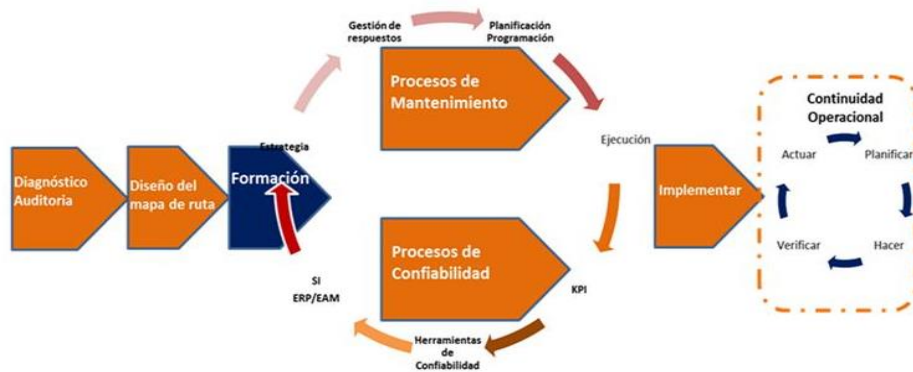


Figura 1. Estructura para el sistema de mantenimiento integrado

Nota: Enova (21)

En función de optimizar la gestión del proceso de mantenimiento se siguen varias pautas referidas en la figura anterior:

1. Realizar un diagnóstico con el objetivo de hacer una revisión del sistema.
2. Determinar el mapa de rutas a seguir de acuerdo con las deficiencias encontradas.
3. Realizar una revisión del papel del mantenimiento en la empresa.
4. Evaluar las competencias necesarias para cada función.
5. Definir los planes de desarrollo y formación en función de las competencias identificadas.
6. Definir el objetivo del flujo de trabajo del mantenimiento, por lo que en esta etapa se plantean las directrices que guían el trabajo, y los procedimientos de ejecución en función de las operaciones.

7. Desarrollar plantillas, los formatos y las herramientas para facilitar la aplicación de los modelos de los procesos.
8. Integración de los procesos
9. Uso correcto de la documentación mediante la utilización de ERP/EAM o CMMS.

2.2.5. Indicadores del Mantenimiento

2.2.5.1. Disponibilidad (D)

De acuerdo con Mato (22) define la disponibilidad como la probabilidad de que un sistema esté operativo o listo para funcionar cuando sea necesario, independientemente de las limitaciones mecánicas o eléctricas, con sujeción a la mantenibilidad y el buen funcionamiento del sistema, así como al intervalo medio entre paradas. Esto es una cualidad que permite identificar el momento preciso para que sea sustituido de forma efectiva al momento de presentar una avería intempestiva. De igual manera, Zegarra (23) establece que para el cálculo de la disponibilidad se relacionan el número total de horas trabajadas entre la sumatoria de estas y las horas durante las paradas, que equivale a dividir el tiempo medio entre paradas (MTBS) entre la suma de este con el tiempo medio para reparar (MTTR) tal como se aprecia a continuación:

$$D = \frac{MTBS}{(MTBS + MTTR)}$$

Donde:

MTBS = total de horas trabajadas/número total de paradas

MTTR = horas en reparaciones/número de paradas

MTBS

Para Zegarra (23), la disponibilidad es parte de los indicadores del mantenimiento de las empresas que llevan procesos con maquinarias y equipos de alto desempeño, señala el tiempo medio entre paradas que presenta el mismo. Para referirse a este indicador, se emplean las siglas MTBS, que provienen del inglés *Mean Time Between Shutdowns*, pero en español suele manejarse como TMPE, que se estima con el cociente entre las horas trabajadas y el número de paradas por desperfectos mecánicos en un determinado período. La fórmula de cálculo se indica mediante la siguiente expresión.

$$MTBS = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}}$$

2.2.5.2. MTTR

En este aspecto, Zegarra (23) explica que el MTTR en inglés de *Mean Time To Repair*, es un indicador de mantenimiento que se expresa en función al tiempo promedio que tardan las reparaciones de un equipo por fallas mecánicas. Se determina dividiendo las horas totales de la reparación entre el número de paradas registradas en un determinado período. La fórmula de mediación se indica a continuación:

$$MTTR = \frac{\text{Horas en reparaciones}}{\text{Número de paradas}}$$

2.2.5.3. Fiabilidad

Según Buenaño et al. (24) señalan que se trata de una fracción racional de tiempo, en la que un activo o maquinaria tiene la capacidad de operar como se espera, viéndose este indicador como un sinónimo de disponibilidad esperada. Su fórmula de cálculo es:

$$F = \frac{(TPP - TTMNP)}{TPP} * 100$$

Donde

F = fiabilidad

TPP = tiempo de producción planificada

TTMNP = tiempo total mantenimiento no previsto

2.2.5.4. Tiempo Medio entre Paradas

Según Canahua (25), se asocia al tiempo medio entre paradas (TMEP), que puede interpretarse como el tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallos consecutivos. El TMEP se define como uno de los indicadores para medir la disponibilidad y se estima dividiendo el total de horas del período disponibles para la producción por el número total de paradas en ese periodo, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$TMEP = \frac{HTP}{NP}$$

Donde:

TMEP = tiempo medio entre paradas

HTP = tiempo total de producción en horas

NP = número de paradas

2.2.6. Equipo del Proceso de Chancado

Según Rumbo Minero Internacional (26), se trata de equipos de dimensiones considerables de hasta 20 metros de altura, que consumen alrededor del 40 % de la energía que se emplea en todo el proceso minero. Su función principal es reducir el tamaño de la roca mineral a un diámetro de ½ pulgada, para que se pueda tratar con mayor facilidad en las demás etapas siguientes de proceso de transformación. Para esto, la roca es pasada por tres procesos, primario, secundario y terciario, donde las rocas inician con 8 pulgadas, pasan a 3 pulgadas y terminan con la especificación indicada. En la figura 2 se aprecia un equipo de chancado de gran dimensión.



Figura 2. Equipo del proceso de chancado

Nota: Metso Outotec (26)

2.2.7. Equipos del Proceso de Molienda

Según lo expresado por Rumbo Minero Internacional (26) son equipos especiales que permiten la trituración de gran consideración, llegando a una granulometría de 0,18 milímetros para facilitar la separación de las partículas minerales de otros elementos o sustancias. Son conocidos también como molinos que pulverizan

las rocas con un proceso rotatorio con el uso de una molienda de bolas o los semiautógenos (SAG). En la figura 3 se aprecia un modelo de estos equipos.



Figura 3. Molino SAG, para moliendas de minerales rocosos
Nota: Eco Mining Concepts (27)

2.2.8. Planta Minera

Representa la estructura física ordenada en estaciones de trabajo para el desarrollo secuencial de actividades, en la cual se lleva a cabo la concentración de los materiales de origen mineral, para la obtención del concentrado selectivo, según las necesidades del proceso minero. En esta se recibe el material extraído del terreno de la mina para ser fragmentado, triturado y molido en los procesos de chancado y molienda. Seguidamente, es pasado por un proceso fisicoquímico donde se separa el material por flotación o por gravedad que también puede efectuarse por magnetismo o electrostática en el cual se obtiene el material de mayor valor como el concentrado de cobre, oro, zinc, plata, cobre, entre otros, para finalmente realizar los procesos de filtrado y concentrado (28).

2.2.9. Procesos Mineros

Chancado. Es la etapa del proceso minero en la cual las rocas son trituradas en varias fases, hasta lograr que se tenga una dimensión esperada entre media y una pulgada, esto siempre y cuando no exista dificultades por la presencia de arcilla o panizo. Es aquí donde los equipos realizan las funciones mediante tres fases conocidas como chancado primario, secundario y terciario, estas van a depender de la característica, capacidad y potencia de que se ejerza dentro de la cámara de trituración (28). En la figura 4 se presenta una ilustración interna de una chancadora.

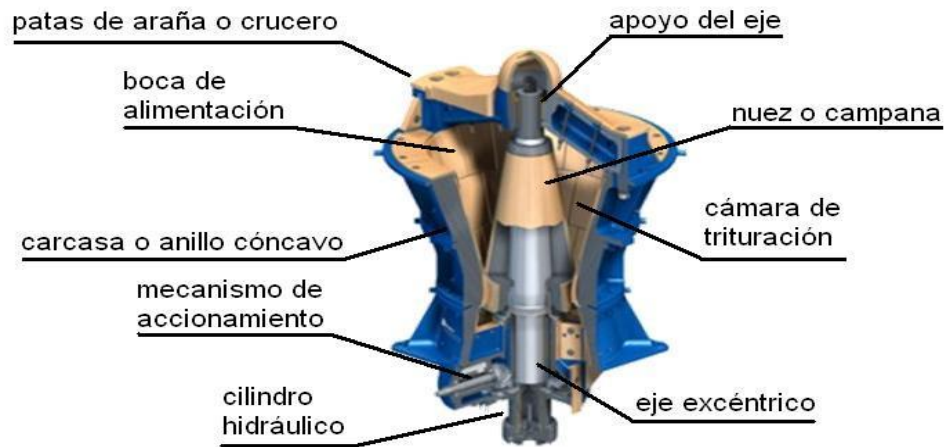


Figura 4. Estructura interna de una chancadora

Nota: Peñafiel (27)

Molienda. Es la etapa en la cual el material es reducido mediante molinos de bolas, por lo general de acero o de algún tipo de aleación o material antiabrasivo, que para molienda gruesa pueden tener un diámetro de 4 pulgadas y de $\frac{3}{4}$ para las más finas, los cuales accionan por impacto, aplastamiento o desgaste hasta lograr una granulometría entre 100 y 200 mallas. En esta operación es donde se realiza la liberación de los materiales que representan el mayor valor. En la figura 5 se puede visualizar el interior de un molino de bola para la molienda.

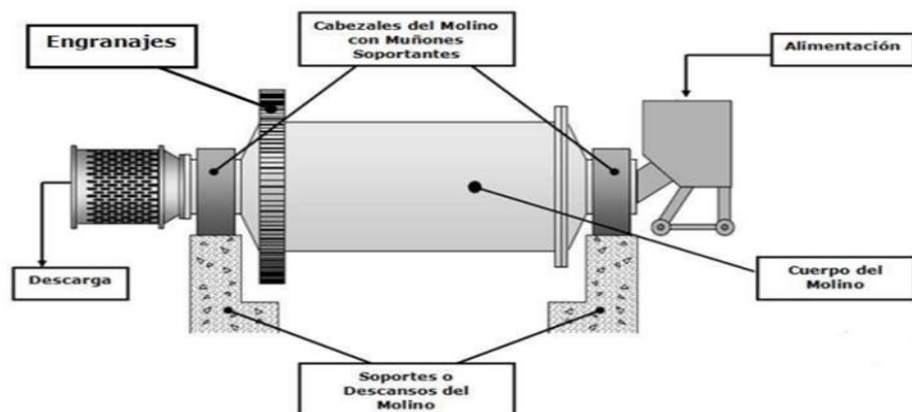


Figura 5. Partes de un molino de bolas para la molienda de minerales

Nota: Valenzuela (29)

Flotación. A este proceso llega el mineral fino mezclado con agua, esta preparación se denomina pulpado. En esta fase se separa el mineral de los residuos denominados ganga, mediante procesos fisicoquímicos. Por lo general, se agregan reactivos que dependen del tipo de mineral que se procesa, lo que facilita la recuperación selectiva del porcentaje de mayor valor. En tal sentido, el reactivo se

adhiera a la parte de la mezcla mineral llamado mena y cuando se introduce el aire a la celda de flotación, la mena se une a la burbuja que se forma en la superficie de la celda donde se realiza la recuperación, agregando otro reactivo químico (28).

Filtrado. El espesamiento y la filtración se utilizan para eliminar la humedad del producto obtenido del proceso de flotación, que se compone de espuma y mezclas de los reactivos químicos utilizados y la proporción de mineral valioso con un alto porcentaje de agua. Esto permite mejorar la manipulación y el transporte del producto, obteniéndose productos finales con un contenido medio de humedad del 8 % (28).

Concentrado. El proceso culmina en el concentrado de mineral fino, donde la humedad se reduce a un rango del 6 al 8 %. Así se cumplen los requisitos para el traslado del producto final a través de unidades de carga de paso a las zonas de almacenamiento, dotadas de ambientes controlados para la preservación y conservación de las especificaciones del mineral necesarias para su comercialización (28).

2.2.10. Mejoramiento Continuo

Es uno de los aspectos más significativos en los procesos industriales, resultado de la concepción aplicada del sistema Kaizen, que está íntimamente relacionado con el desenvolvimiento tecnológico organizacional, con la finalidad de lograr los objetivos establecidos que involucren cero defectos, cero desperdicios y el cumplimiento de los planes establecidos. Se apoya en el ciclo de Deming donde se aplican cuatro pasos de forma cíclica con la planificación, pasando luego a las acciones, seguidamente con la verificación de cumplimientos y finalmente, las actuaciones que implican la implementación de los correctivos sobre la marcha, que permite una secuencia continua y una actividad progresiva, dentro de toda organización (30). En la siguiente figura se puede observar el proceso de mejora continua mediante el ciclo de Deming.

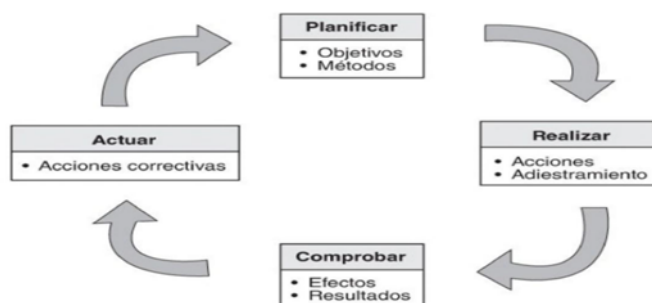


Figura 6. Ciclo de mejoramiento continuo
Nota: Cuatrecasas, et al. (30)

La mejora continua asegura en los procesos donde se aplique, que los mismos serán cada vez más productivos, las herramientas que se utilicen favorecen a la búsqueda constante de aumentar la rentabilidad en las empresas, siempre velando por el bienestar organizacional y preservación de los recursos.

2.3. Definición de Términos Básicos

Avería: forma de manifestarse un daño o afección de una parte del equipo que impide su operatividad de manera temporal.

Capacitación: acción de preparar al personal de manera formativa, basada en la adquisición de conocimientos técnicos para desarrollar las actividades laborales de forma eficiente, segura y productiva.

Defecto: es una condición inoperante que afecta el rendimiento y la efectividad del equipo.

Diagnóstico: resultado de la evaluación del estado instantáneo del equipo, como consecuencia de la aplicación de métodos y herramientas específicas para obtener la información a tiempo real de las deficiencias y oportunidades de mejoras para la disponibilidad del equipo.

Fallo: manifestación de una falencia intempestiva del equipo que le impide cumplir con sus funciones preestablecidas de diseño, como consecuencia de una avería.

Fiabilidad: capacidad del equipo de operar de manera continua, sostenible y confiable.

Mantenibilidad: es la propiedad del equipo de ser objeto de mantenimiento en el menor tiempo posible con el uso de los recursos necesarios y suficientes.

Plan: documento que contienen las actividades a desarrollar, donde se establecen las funciones y responsabilidades del personal, los recursos a emplear, los controles necesarios y las acciones preventivas y correctivas de rigor.

Prevención: Es la aplicación de medidas para disminuir la probabilidad de que se produzca un acontecimiento desfavorable y cause consecuencias o pérdidas se conoce como prevención.

Reparación: rectificación de una avería y por ende, la eliminación de una falla.

Capítulo III

Metodología

3.1. Nivel de Investigación

La investigación fue descriptiva, ya que el paso inicial consistió en caracterizar el problema que hace que el equipo esté fuera de servicio durante largos períodos de tiempo. También fue evolutiva, pues sugiere una gestión integral de mantenimiento que ayude a disminuir el número de horas de inactividad de los equipos del proceso de trituración y molienda. Correlacional porque permitió identificar la relación actual entre las variables investigadas.

3.2. Tipos de Investigación

El estudio fue aplicado, ya que se enfocó en la solución, de igual forma presentó un enfoque cuantitativo, debido a que se obtuvieron datos numéricos analizados mediante métodos matemáticos y estadísticos para caracterizar el problema.

3.3. Alcance de la Investigación

El propósito de este estudio fue investigar sobre una problemática relacionada con la aplicación de mantenimiento integrado, considerando los conocimientos adquiridos y aportar nuevos lineamientos a favor de la organización objeto del estudio. En este sentido, se acota que se trató de una investigación de tipo aplicado, que según Lozada (31), tiene como fin aportar un nuevo conocimiento mediante el uso de protocolos y estructuras ya validadas, que pueden ser de manera instantánea o a futuro, que influirán en el desarrollo de un determinado segmento social y, por lo general, se apoya en los fundamentos establecidos en una investigación básica.

3.4. Diseño de la Investigación

Establecer un tipo concreto de diseño para un proyecto de investigación fue crucial para perfilar el plan de trabajo y estratégico que se creará con el fin de alcanzar los objetivos o hipótesis planteados. Según esta secuencia de conceptos, se describe como un conjunto de métodos y técnicas que se definen y organizan para producir los resultados que validan el planteamiento del tema y el problema especificados, confirmar las hipótesis planteadas y alcanzar las respuestas previstas a los objetivos establecidos (32).

Para este caso específico, se empleó un diseño no experimental, debido a que no se llevó a cabo cambios controlados en las variables de estudio, solo se observó el proceso, se describió y se presentaron los elementos u oportunidades de mejora y se diseñó una propuesta viable y favorable. Con relación a este diseño, Mayta y Salazar (33) señalan que se aprecia cuando no se manipulan las variables del estudio de forma deliberada y solo se describen y se plasman los eventos tal como se van generando.

3.5. Población y Muestra

La población de una investigación formal se define como el conjunto de elementos, objetos o personas que se están viendo afectadas por la problemática planteada, mientras que la muestra se trata de una proporción representativa que puede ser estimada de forma estadística o por medio de un criterio específico según las necesidades del investigar (32). Para el presente estudio, la población estuvo conformada por el personal del área de chancado y molienda y de mantenimiento, cuyo número es de total 15 y los 18 equipos empleados en los procesos de chancado y molienda. En la tabla 2 se aprecia la distribución actual de los equipos mientras que en la figura 3, se visualiza el personal involucrado.

Tabla 2. Equipos de los procesos de chancado y molienda como parte de la población del estudio

Ítem	Descripción	Marca	Tag number
1	Chancadora primaria 63«x 94» 1@2	FLS MIDTH	<u>2610-CR-001@002</u>
2	Faja alimentadora chancadora primaria	THIS SENKRUP	<u>2730-FE-001@002</u>
3	Faja transportadora de sacrificio	THYSSE NKRUP	<u>2730-CV-001</u>
4	Faja transportadora <i>overland</i>	THYSSEN KRUP	2730-CV-002
5	Faja alimentadora de grueso	THYSSEN KRUP	<u>3140-FE-001@004</u>
6	Correa alimentación molinos SAG	THYSSEN KRUP	<u>3140-CV-001@002</u>
7	Molinos de SAG 1@2	METSO	<u>3210-MI-001@002</u>
8	Zaranda vibratoria	HAYER	<u>3210-SN-001@002</u>
9	Bomba alimentación de ciclones	GIW	<u>3210-PU-001@004</u>

10	Batería de ciclones	VULCO	<u>3210-CY-001@004</u>
11	Molinos de bolas 1@2	METSO	<u>3210-MI-001@004</u>
12	Faja transportadora de <i>pebbles</i>	THYSSEN KRUP	3220-CV-001
13	Faja transportadora alta pendiente	THYSSEN KRUP	<u>3220-CV-009@010</u>
14	Faja transportadora distribuidor silo de <i>pebbles</i>	THYSSEN KRUP	3220-CV-011
15	Faja alimentador a chancadora de <i>pebbles</i>	THYSSEN KRUP	<u>3220-FE-001@002</u>
16	Chancadora de <i>pebbles</i>	METSO	<u>3220-CR-001@002</u>
17	Faja transportadora recuperación <i>pebbles</i> chancado	THYSSEN KRUP	3220-CV-003
18	Faja transportadora <i>pebble</i> retorno molino SAG	THYSSEN KRUP	3220-CV-014



Figura 7. Personal integrante de la población del estudio
 Nota: tomada de los archivos de la empresa

Con relación a la muestra, por ser un número reducido, se decide no aplicar un muestreo no probabilístico de carácter intencional, por lo tanto, estará conformada por la totalidad del personal involucrado y por las maquinarias que acumulan el 80 % de las fallas registradas en el período de estudio. En este particular, Arias et al. (36) indican que «este procedimiento utiliza como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso» (p. 206).

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de la información se planteó utilizar las técnicas de la observación directa, la revisión documental, la encuesta, que en conjunto con los datos de fiabilidad y disponibilidad de equipos ofrecidos por la empresa ayudaron a la toma de decisión en la investigación. En el método Delphi, se emplea como instrumentos la ficha de registro de datos, un cuestionario con escala tipo Likert (ver anexo 1) y la guía de observaciones. Para Sánchez et al. (35) estas técnicas e instrumentos permiten que el investigador interactúe directamente

con el objeto de estudio, obteniendo, de manera tanto directa como referencial, la información de registros históricos e información primaria, para luego ordenarla, analizarla y fijar las acciones pertinentes sobre el caso. En el anexo 1 se aprecian los instrumentos diseñados para la investigación, donde los resultados de su aplicación fueron analizados por los criterios que se señalan en la tabla 3.

Tabla 3. Criterios para la interpretación de los resultados del cuestionario

Rango de conformidad		
Rango	Calificación	Cumplimiento
0 y 0.9	De 1 % a 19 %	No cumple
1 y 1.9	De 20 % a 39 %	Muy deficiente
2 y 2.9	De 40 % a 59 %	Deficiente
3 y 3.9	De 60 % a 79 %	Regular
4 y 4.9	DE 80 % a 99 %	Aceptable
5	100 %	Total

Por otro lado, sobre el método Delphi, López (36) expone que:

Gracias al método Delphi permite arrojar luz sobre un problema de investigación, un grupo de expertos puede comunicarse mediante un proceso estructurado. Su creación debe garantizar el anonimato, crear un proceso iterativo basado en la retroalimentación y centrarse en un análisis estadístico de la reacción colectiva.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1. Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información

4.1.1. Diagnóstico de la Situación actual del Mantenimiento Aplicado en la Empresa a los Equipos de los Procesos de Chancado y Molienda según los Principios de la Gestión del Mantenimiento Integral, en una Planta Minera, 2021

Basados en la misión del trabajo, enmarcado a través de los objetivos, específicamente en el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de los equipos de chancado y molienda en una planta minera en el año 2021, se demostró mediante los resultados obtenidos, la apreciación sobre la gestión del mantenimiento integral.

Por ello, en este primer apartado de la investigación se ha utilizado la técnica de la encuesta, mediante un cuestionario de 18 preguntas con una escala de respuesta tipo Likert. Los resultados de esta encuesta se resumen en el cuadro 4 y se detallan en los anexos.

Tabla 4. Resultados del diagnóstico del mantenimiento actual aplicado, en función a los requisitos de una gestión de mantenimiento integral

Elemento	Valor acumulado	Media	Mediana
Mantenimiento integral	912	3.45	3.43
Dimensión Gestión	127	2.82	3.00
Dimensión Auditoría	132	2.93	3.00
Dimensión Índices	159	3.53	3.33
Dimensión Tercerización	100	3.33	3.50

Dimensión Controles	110	3.67	3.50
Dimensión Diagnóstico	117	3.90	4.00
Dimensión Plan de intervención	167	3.70	3.67

La tabla 4 señala los resultados de la aplicación del cuestionario, donde se aprecia que la media de los datos oscila entre 2.82 y 3.90 y la mediana, entre 3.00 y 4.00 en base a un valor máximo de 5 y mínimo de 1. En este sentido, considerando los criterios de la tabla 3, se puede visualizar que estos datos permiten inferir que la actual gestión de mantenimiento y la mediana de cada dimensión indagada, puede ser calificada en su mayoría en un rango de deficiente a regular y solo la dimensión del diagnóstico, entra en el rango como aceptable. En la figura 8 se aprecia gráficamente esta situación

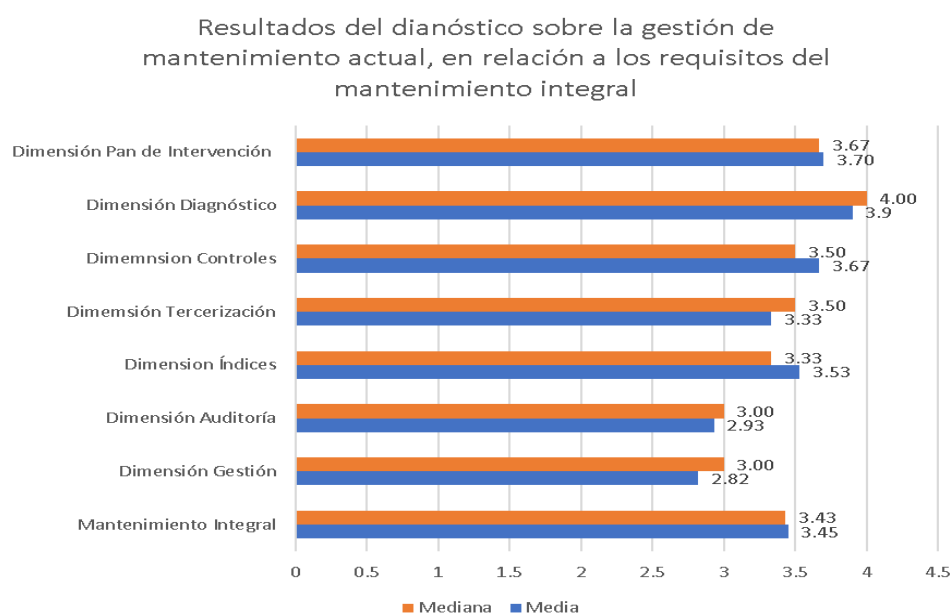


Figura 8. Comportamiento gráfico de las dimensiones asociadas con una gestión de mantenimiento integral, aplicada al mantenimiento actual aplicado en la empresa

Considerando los aspectos teóricos relacionados a la gestión de mantenimiento integral, se puede precisar que el mantenimiento que se aplica actualmente cuenta con debilidades e incumplimientos que deben ser reforzados. Las mayores deficiencias se observaron en la dimensión Gestión que logró una mediana de 3.00 y una media de 2.82 y la dimensión Auditoría que logró una media de 2.93 y una mediana de 3.00. Estos resultados indican que son dos aspectos importantes que deben ser mejorados en la propuesta de solución.

4.1.2. Deficiencias de la gestión de mantenimiento de los equipos de los procesos de chancado y molienda en una planta minera, 2021

Considerando al mantenimiento como una de las partidas más importantes del plan presupuestario de la planta, que debe ser realizado o sustentado con una gestión adecuada a los criterios técnicos de los equipos. En esta parte del estudio se analizaron los resultados obtenidos, de acuerdo con las deficiencias encontradas en la gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda.

Los datos se analizaron por medio del método Delphi como paso inicial, donde los expertos conformados por los 15 miembros de la población en estudio procedieron a llevar a cabo la presentación de la información, en torno a las causas que afectan la disponibilidad que generan deficiencias de la gestión de mantenimiento de los equipos en cuestión. Para tal fin, se siguieron las pautas establecidas en esta metodología tal como se indica a continuación:

1.- Selección y conformación del panel de expertos

Este panel se conformó con el equipo de trabajo de área de mantenimiento, tal como se indicó en la figura 7.

2.- Número de expertos

El número de expertos asciende a 15, que conforman la totalidad de la población objeto de estudio, igual número fue considerado como muestra de la investigación.

3.- Calidad del panel

La calidad del panel está dada por la experiencia de trabajo y su relación directa con el proceso de mantenimiento de los 18 equipos de chancado y molienda que son empleados en el proceso minero.

4.- Proceso iterativo en rondas

Los integrantes del panel respondieron de forma individual y por escrito en un formato escrito, a la interrogante siguiente:

¿Cuáles son las principales deficiencias que evidencia la gestión de mantenimiento que afectan la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda?

5.- Criterios a considerar para la finalización del proceso: consenso y estabilidad.

El proceso finaliza una vez que todos los miembros hacen entrega de su formato al investigador, quien procede con la revisión y ordenamiento de las causas comunes, presentando la tabla de resultados con la frecuencia de coincidencias entre los miembros del panel.

En la tabla 6 se señala la jerarquización de las causas que afectan la gestión de mantenimiento. Por tanto, en el presente contexto se expone que la situación actual lleva a comprobar que los resultados obtenidos son un reflejo verídico del planteamiento del problema, que mencionó que la disponibilidad de los equipos en promedio es de 90 %, debido a las causas que afectan (ver tabla 5), durante el período de estudio fueron de 120 veces sobre los 18 equipos existentes, siendo chancadora primaria 63” x 94” 1@2 con 28 fallas representado en 23.33 %.

Tabla 5. Causas que afectan la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda que generan deficiencias en la gestión de mantenimiento

Causa	Descripción	Frecuencia	%	Frecuencia acumulada	% acumulado
1	Falta de un plan integral de mantenimiento	21	30.88	21	30.88
2	Falta de capacitación integral del trabajador	20	29.41	41	60.29
3	Carencia de reingeniería de mantenimiento	9	13.24	50	73.53
4	Manejo deficiente de indicadores de gestión	5	7.35	55	80.88
5	Falta de un sistema integrado de información	5	7.35	60	88.24
6	Falta de inspecciones programadas	3	4.41	63	92.65
7	Paradas no programadas de los equipos	2	2.94	65	95.59
8	Falta de un stock mínimo de repuestos	1	1.47	66	97.06
9	Falta de participación en equipo	1	1.47	67	98.53
10	Ausencia de mejoramiento continuo	1	1.47	68	100.00
	Total	68			

En la tabla 5 se puede apreciar que las cuatro primeras causas acumulan el 80 % del problema. Aplicando el principio de parte se obtiene que la principal afección de la gestión actual es la ausencia de una planificación integral con un 30.88 %, seguido de la falta de capacitación integral del personal con un 29.41 %, en tercer lugar, la carencia de reingeniería de mantenimiento con un 113.24 % y cerrando la cuarta posición con un 7.35 % un deficiente manejo de los indicadores de gestión. En la figura 9 se aprecia el diagrama de Pareto para esta situación observada.

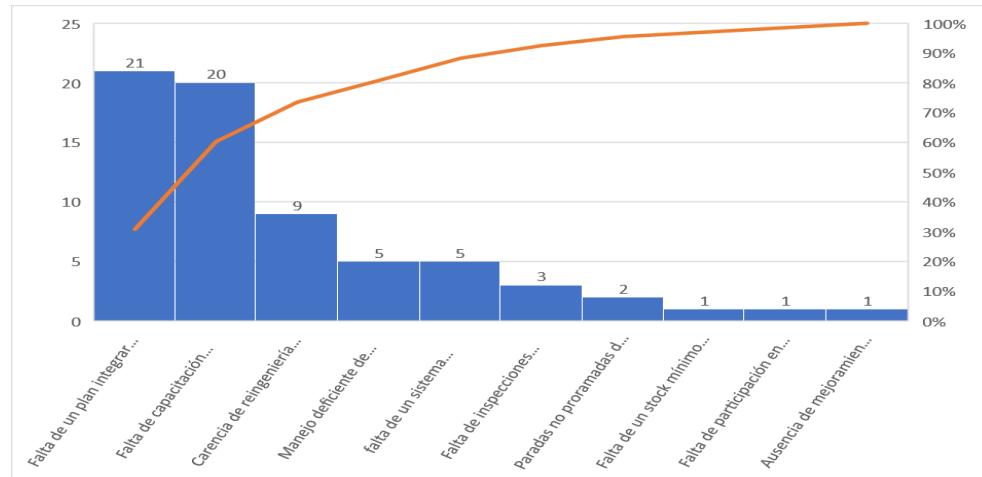


Figura 9. Diagrama de Pareto sobre la deficiencia de la gestión de mantenimiento

Los resultados mostrados en el diagrama de la figura 9 indican que la ausencia de un plan de mantenimiento integrado, la formación inadecuada de los trabajadores, la falta de reingeniería del mantenimiento y la mala gestión de los indicadores de gestión son las principales causas de las deficiencias de la actual gestión del mantenimiento.

Además, en la tabla 6 se indica la especificación de los equipos con mayor frecuencia de fallas en el período.

Tabla 6. Fallas registradas durante el período de estudio de los equipos de los procesos de chancado y molienda

Descripción	Fallas	%	% Acumulado
Chancadora primaria 63" x 94" 1@2	28	23.33	23.33
Molinos de SAG 1@2	26	21.67	45.00
Molinos de bolas 1@2	22	18.33	63.33
Chancadora de <i>pebbles</i>	21	17.50	80.83
Faja transportadora <i>pebble</i> retorno molino SAG	4	3.33	84.17
Faja transportadora recuperación <i>pebbles</i> chancado	3	2.50	86.67
Faja transportadora <i>overland</i>	3	2.50	89.17

Faja alimentador a chancadora de <i>pebbles</i>	3	2.50	91.67
Faja transportadora de sacrificio	2	1.67	93.33
Batería de ciclones	2	1.67	95.00
Faja alimentadora chancadora primaria	2	1.67	96.67
Zaranda vibratoria	1	0.83	97.50
Faja transportadora de <i>pebbles</i>	1	0.83	98.33
Faja alimentadora de grueso	1	0.83	99.17
Faja transportadora alta pendiente	1	0.83	100.00
Correa alimentación molinos SAG	0	0.00	100.00
Bomba alimentación de ciclones	0	0.00	100.00
Faja transportadora distribuidor silo de <i>pebbles</i>	0	0.00	100.00
Total	120		

Nota: tomada de los archivos de la empresa

4.1.3. Comportamiento de la Disponibilidad de los Equipos de los Procesos de Chancado y Molienda en una Planta Minera, 2021

Dado que la empresa solo tenía programado trabajar seis días a la semana, en este punto de la investigación se recopiló información sobre la disponibilidad del equipo de trituración y molienda, lo que llevó a afirmar que la empresa calculaba trabajar 72 horas semanales. A continuación, se documentó el tiempo necesario para cada parada semanal relacionada con un fallo, junto con la cantidad de tiempo de mantenimiento no programado necesario para solucionarlo.

En este orden de ideas, se presenta la tabulación del indicador tiempo medio entre paradas (TMEP) como se aprecia en la tabla 7.

Tabla 7. Tiempo medio entre paradas por fallas en los equipos observados

Periodo	Horas totales en el período	Número de paradas	TMEP	Promedio (horas)	
Ene-21	Semana 1	72	2	36	27.00
	Semana 2	72	2	36	
	Semana 3	72	0	0	
	Semana 4	72	2	36	
Feb-21	Semana 1	72	2	36	24.00
	Semana 2	72	3	24	
	Semana 3	72	0	0	
	Semana 4	72	2	36	
Mar-21	Semana 1	72	2	36	21.00
	Semana 2	72	0	0	
	Semana 3	72	3	24	
	Semana 4	72	3	24	
Abr-21	Semana 1	72	2	36	24.00

	Semana 2	72	0	0	
	Semana 3	72	2	36	
	Semana 4	72	3	24	
	Semana 1	72	1	72	
May-21	Semana 2	72	3	24	30.00
	Semana 3	72	3	24	
	Semana 4	72	0	0	
	Semana 1	72	3	24	
Jun-21	Semana 2	72	1	72	39.00
	Semana 3	72	2	36	
	Semana 4	72	3	24	
	Semana 1	72	1	72	
Jul-21	Semana 2	72	2	36	42.00
	Semana 3	72	2	36	42.00
Ago-21	Semana 4	72	3	24	30.00
	Semana 1	72	2	36	
	Semana 2	72	2	36	
	Semana 3	72	3	24	
Set-21	Semana 4	72	3	24	42.00
	Semana 1	72	2	36	
	Semana 2	72	3	24	
	Semana 3	72	2	36	
Oct-21	Semana 4	72	1	72	39.00
	Semana 1	72	3	24	
	Semana 2	72	3	24	
	Semana 3	72	2	36	
Nov-21	Semana 4	72	1	72	30.00
	Semana 1	72	0	0	
	Semana 2	72	1	72	
	Semana 3	72	3	24	
Dic-21	Semana 4	72	3	24	27.00
	Semana 1	72	3	24	
	Semana 2	72	2	36	
	Semana 3	72	3	24	
	Semana 4	72	3	24	

Para realizar los cálculos de cada mes se utilizaron las fórmulas recogidas en el marco teórico de la investigación, donde el TMEP es igual a HTP/NP , siendo NP el número de paradas y HTP el número total de horas del periodo. Según la tabla 7, los valores más altos (42 horas) se encontraron en julio y septiembre de 2021, mientras que el TMEP más bajo se registró en marzo.

El segundo indicador asociado con la disponibilidad de los equipos lo representa la fiabilidad, que está en función al tiempo de mantenimiento no programado generado por las paradas. Los datos fueron analizados para determinar dicho índice y se ordenaron tal como aparece en la tabla 8.

Tabla 8. Fiabilidad de los equipos de chancado y molienda, objeto de estudio

Periodo		Tiempo de producción programado (horas)	Tiempo total de mantenimiento no programado (horas)	Fiabilidad (%)	Promedio (%)
Ene-21	Semana 1	72	14	80.56	87.15
	Semana 2	72	9	87.50	
	Semana 3	72	0	100.00	
	Semana 4	72	14	80.56	
Feb-21	Semana 1	72	10	86.11	87.50
	Semana 2	72	12	83.33	
	Semana 3	72	0	100.00	
	Semana 4	72	14	80.56	
Mar-21	Semana 1	72	11	84.72	87.85
	Semana 2	72	0	100.00	
	Semana 3	72	10	86.11	
	Semana 4	72	14	80.56	
Abr-21	Semana 1	72	12	83.33	87.50
	Semana 2	72	0	100.00	
	Semana 3	72	12	83.33	
	Semana 4	72	12	83.33	
May-21	Semana 1	72	8	88.89	90.97
	Semana 2	72	9	87.50	
	Semana 3	72	9	87.50	
	Semana 4	72	0	100.00	
Jun-21	Semana 1	72	11	84.72	86.46
	Semana 2	72	8	88.89	
	Semana 3	72	9	87.50	
	Semana 4	72	11	84.72	
Jul-21	Semana 1	72	14	80.56	81.25
	Semana 2	72	12	83.33	
	Semana 3	72	14	80.56	
	Semana 4	72	14	80.56	
Ago-21	Semana 1	72	14	80.56	79.51
	Semana 2	72	15	79.17	
	Semana 3	72	15	79.17	
	Semana 4	72	15	79.17	
Set-21	Semana 1	72	14	80.56	81.60
	Semana 2	72	15	79.17	

	Semana 3	72	15	79.17	
	Semana 4	72	9	87.50	
Oct-21	Semana 1	72	15	79.17	
	Semana 2	72	14	80.56	79.51
	Semana 3	72	14	80.56	
	Semana 4	72	16	77.78	
Semana 1	72	15	79.17		
Nov-21	Semana 2	72	14	80.56	79.51
	Semana 3	72	14	80.56	
	Semana 4	72	16	77.78	
	Semana 1	72	16	77.78	
Dic-21	Semana 2	72	14	80.56	79.17
	Semana 3	72	15	79.17	
	Semana 4	72	15	79.17	

En este caso, para calcular la fiabilidad se utilizó la ratio matemática porcentual, que es la diferencia entre el tiempo de producción programado y el tiempo total de mantenimiento no programado en horas. Esta ratio se dividió por el mismo tiempo de producción programado. Es así como en la tabla 8 se observa que el menor valor se registró en diciembre de 2021 cuya cifra se ubicó en 79.17 %, mientras que el máximo porcentaje se ubicó en mayo con 90.97 % además se resalta que la tendencia decreciente se pudo verificar a partir de julio, afectando significativamente dicho indicador.

Finalmente, ya presentado los indicadores que influyen sobre la disponibilidad, se expone el cálculo de la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda, que se encuentra afectada por la actual gestión de mantenimiento. Esta aseveración se respalda de forma numérica en la tabla 9.

Tabla 9. Valores de la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda objeto de estudio, para el período enero-diciembre de 2021

Periodo	Tiempo de producción programado en días (S)	Total de tiempo muerto en días (D)	Disponibilidad (%)	Promedio (%)	
Ene-21	Semana 1	6	0.58	90.33	
	Semana 2	6	0.38	93.67	93.58
	Semana 3	6	0	100.00	
	Semana 4	6	0.58	90.33	
Feb-21	Semana 1	6	0.42	93.00	
	Semana 2	6	0.5	91.67	93.75
	Semana 3	6	0	100.00	

	Semana 4	6	0.58	90.33	
	Semana 1	6	0.46	92.33	
Mar-21	Semana 2	6	0	100.00	93.92
	Semana 3	6	0.42	93.00	
	Semana 4	6	0.58	90.33	
	Semana 1	6	0.5	91.67	
Abr-21	Semana 2	6	0	100.00	93.75
	Semana 3	6	0.5	91.67	
	Semana 4	6	0.5	91.67	
	Semana 1	6	0.33	94.50	
May-21	Semana 2	6	0.38	93.67	95.46
	Semana 3	6	0.38	93.67	
	Semana 4	6	0	100.00	
	Semana 1	6	0.46	92.33	
Jun-21	Semana 2	6	0.33	94.50	93.38
	Semana 3	6	0.38	93.67	
	Semana 4	6	0.42	93.00	
	Semana 1	6	0.58	90.33	
Jul-21	Semana 2	6	0.5	91.67	90.67
	Semana 3	6	0.58	90.33	
	Semana 4	6	0.58	90.33	
	Semana 1	6	0.58	90.33	
Ago-21	Semana 2	6	0.63	89.50	89.71
	Semana 3	6	0.63	89.50	
	Semana 4	6	0.63	89.50	
	Semana 1	6	0.58	90.33	
Set-21	Semana 2	6	0.63	89.50	90.75
	Semana 3	6	0.63	89.50	
	Semana 4	6	0.38	93.67	
	Semana 1	6	0.63	89.50	
Oct-21	Semana 2	6	0.58	90.33	89.75
	Semana 3	6	0.58	90.33	
	Semana 4	6	0.67	88.83	
	Semana 1	6	0.63	89.50	
Nov-21	Semana 2	6	0.58	90.33	89.75
	Semana 3	6	0.58	90.33	
	Semana 4	6	0.67	88.83	
	Semana 1	6	0.67	88.83	
Dic-21	Semana 2	6	0.58	90.33	89.54
	Semana 3	6	0.63	89.50	
	Semana 4	6	0.63	89.50	

Una vez más se evidencia que el comportamiento porcentual de los indicadores relacionados con el objetivo general de la investigación, en este caso, la valoración porcentual mes a mes de la disponibilidad, la cual se estimó con la expresión $(S-D) / S$

$\times 100$, donde S es el tiempo de producción programado en días y D es el tiempo total en días que se considera muerto por la inoperatividad del equipo por fallas.

En este sentido, se observa en la tabla 9 que desde julio a diciembre este indicador tuvo una tendencia decreciente, ubicándose en un promedio cercano al 90 % reflejando una predisposición a reducir el porcentaje. No obstante, entre enero a junio, su comportamiento estuvo en promedio por encima del 93 %, aun cuando la organización tiene como meta, ubicarlo como mínimo en un 95 % de manera regular y sostenible.

4.2. Discusión de Resultados

En cuanto al diagnóstico de la situación actual del mantenimiento aplicado en la empresa a los equipos de chancado y molienda según los principios de la gestión del mantenimiento integral, se pudo verificar que la falta de cumplimiento a cabalidad de los requerimientos de una gestión de mantenimiento integral, se evidencia con las carencias en cuanto al manejo inadecuado de la gestión por fallas en la planificación, la ausencia de auditorías programadas y el manejo parcial de indicadores que limitan el monitoreo, tal como lo determinó en su investigación como parte de los hallazgos, Calderón (7).

Estos resultados se asemejan a los arrojados por el trabajo de Cabrera et al. (5) donde, al igual que en esta investigación, los procesos de planificación de mantenimiento no cuentan con un sistema óptimo de control operacional donde se pueda establecer los tipos y frecuencias de las revisiones a cargo de los operadores de campo.

Se utilizó el método Delphi, la tabulación de datos y el principio de Pareto para evaluar en el 2021 desde el punto de vista de las deficiencias en la gestión del mantenimiento de los equipos de chancado y molienda en una planta minera. Se observó que entre las principales causas observadas estaban la falta de un plan integral de mantenimiento, la falta de capacitación integral del personal, la falta de reingeniería del mantenimiento y el mal manejo de los indicadores de gestión, lo que coincide en gran medida con lo establecido por López (36).

Si no se reconoce la sensibilidad de un problema, como la gestión inadecuada de indicadores de gestión de mantenimiento, puede resultar en pérdidas mucho mayores que las que ya están ocurriendo. Por lo tanto, se sugieren reuniones semanales presididas por el gerente de mantenimiento, según la investigación de Gómez (4), con participación de la línea supervisora y una agenda estructurada que incluya el conocimiento del plan de gestión de

mantenimiento para sugerir acciones que mejoren el desempeño, siempre con base en las condiciones actuales del equipo sin presionarlo para que alcance su capacidad de producción.

La idea principal es ampliar la garantía de los valores de productividad bajo un presupuesto de mantenimiento realista que soporte en números positivos el esfuerzo del equipo durante su tiempo de vida útil. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que una planificación del mantenimiento y una ejecución apegada a las especificaciones técnicas de los equipos, tiene una mayor influencia en el rendimiento de los mismos, considerando que la vida útil con el paso del tiempo conlleva desgaste.

Por lo que un estudio detallado del comportamiento de cada equipo resulta indispensable para analizar los indicadores de desempeño y prever los futuros reemplazos. Una propuesta interesante que se puede aportar y concuerda perfectamente con la investigación realizada por Gómez (4) en el aprovechamiento del tiempo de inactividad por la disminución en la producción de los minerales durante las operaciones de la mina, para ejecutar labores de mantenimiento a los equipos, sin verse afectado los indicadores ni la producción.

No obstante, los resultados de Percy (2) son comparables en la medida en que ofrecen una solución a la cuestión de la deficiencia de los indicadores al afirmar que, utilizando una serie de herramientas de gestión, los indicadores de gestión técnica de los equipos de disponibilidad y fiabilidad mecánicas pueden aumentar hasta un 23 %, o un 7,35 % en este caso, sin tener en cuenta los datos acumulados.

También es necesario abordar la falta de capacitación integral del trabajador como punto fundamental, que se presenta como segunda causa que más afecta la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda generando deficiencias en la gestión de mantenimiento, (ver la tabla 6). Este proyecto siente la responsabilidad según los resultados dados, de recomendar un plan de capacitación sobre el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y es propicio comenzar con los equipos más susceptibles a fallas, mostrados en la tabla 6.

Un punto que no deja de ser indiferente en esta investigación, que a pesar de no tener un porcentaje elevado (ver la tabla 6), pero representa una fuerte estrategia dentro de las actividades operacionales de la planta minera en el 2021, es la reingeniería de mantenimiento, se puede afirmar que no se trata solamente de replantear o aplicar cambios profundos tanto en los equipos como en las habilidades o conocimientos de los trabajadores.

Se debe plantear la reingeniería como un vínculo con los objetivos de la empresa, y debe ir de la mano con la determinación de mejorar la gestión de mantenimiento por parte de la gerencia, cuando se ha evidenciado con pruebas sustentables los problemas de base. Adicionalmente, se debe considerar estrategias minimizando costos, con coherencia en la definición de políticas, procedimientos y estructuras organizacionales.

Asimismo, se señala que se debe tener en cuenta un estudio de los consumibles y repuestos requeridos durante cada mantenimiento, con la finalidad de evaluar el rendimiento, disponibilidad, costos y calidad de estos, esto debido a que la incorporación de nuevas actualizaciones y tecnologías sobre repuestos permita disminuir fallas y aumentar el rendimiento, todo esto con el respeto y tolerancia del presupuesto asignado para tal fin.

Por último, cabe destacar que a partir del comportamiento de la disponibilidad de los equipos para los procesos de chancado y molienda en una planta minera en el año 2021, se ha determinado que si se modifica la actual gestión de mantenimiento utilizando los principios del mantenimiento integrado, considerando los aspectos de una correcta gestión planificada y coordinada con los diversos entes involucrados, la aplicación de auditorías programadas, el manejo correcto de los índices de mantenibilidad, fiabilidad, confiabilidad y disponibilidad, contar con la regularización de grupos tercerizados que realicen actividades de mantenimiento de gran envergadura, con un control eficiente, bajo un diagnóstico seguro y la utilización de planes de intervención coordinados bajo una comunicación efectiva, se lograría entonces una gestión de mantenimiento integral, favorable a la planta minera, tal como lo indicaron Escaño y Andrade (16).

Estos números arrojados respaldan de manera irrefutable la imperiosa necesidad de replantear una mejora en la gestión de mantenimiento integral para el mejoramiento continuo y así alcanzar o sobrepasar la cifra deseada. Alineado con las bases teóricas anteriormente descritas, se plantea una propuesta aplicada con los principios representados en la figura 1 referente a la estructura para el sistema de mantenimiento integrado.

4.3. Rediseño de la Gestión de Mantenimiento Integral en Función de la Disponibilidad de los Equipos de los Procesos de Chancado y Molienda en una Planta Minera, 2021

En función de mejorar la disponibilidad de equipos de los procesos de chancado y molienda en la planta minera se procede a un rediseño de la gestión de mantenimiento, en la siguiente figura se detallará la secuencia de actividades que se realizará en este apartado.

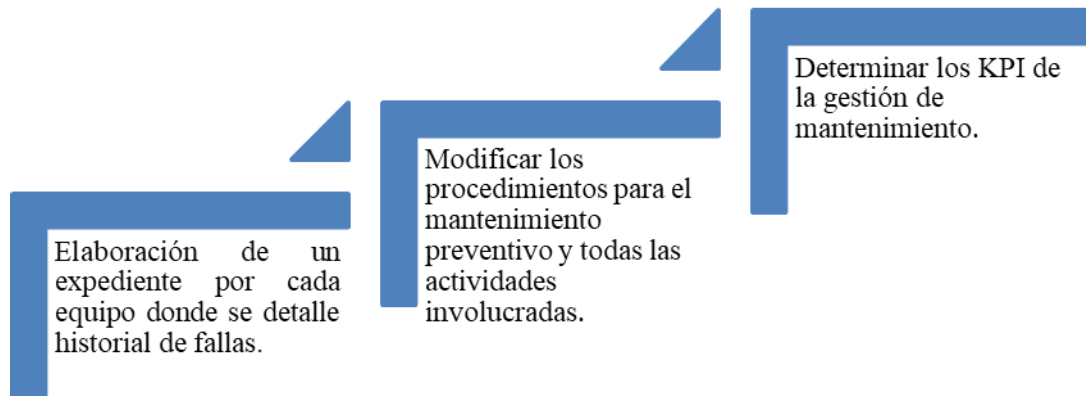


Figura 10. Estructura del rediseño de la Gestión de Mantenimiento

4.3.1. Elaboración de un Expediente por cada Equipo donde se Detalle Historial de Fallas

Para la elaboración del expediente de cada máquina se podrán desarrollar retroalimentación de los procesos. El objetivo de desarrollar esta actividad es poder tener la información de todos los acontecimientos por los que pase la máquina (fallas, reparaciones, calidad de repuestos/insumos, operadores, etc.). De este modo se puede dar respuesta rápida y eficientemente frente a cualquier problema. Se contempla en el expediente diferentes ítems, como son:

ITEM	DESCRIPCIÓN
Historial de reparaciones	Es necesario para saber de qué forma la máquina viene fallando y porque es que se debieron estas averías. Todas las máquinas tendrían sus propios historiales en el cual especificaría cuando, como y porque fueron reparadas. Esperamos lograr que las reparaciones en los mantenimientos correctivos se tornen rutinarias, por ya existir antecedentes de fallas similares.
Historial de repuestos/insumos	Con esto, todas las compras serán censadas. Los equipos siempre utilizan los mismos repuestos, pero existe en el mercado una gran variedad de oferta. La diferencia entre opciones siempre está definida entre la calidad y precio. Con este historial es posible saber por medio de la práctica en el uso, cuáles son los repuestos económicamente más eficientes. Esperamos que con este historial la empresa pueda escoger mejor sus proveedores.
Historial de operadores:	Todas las máquinas tienen operadores designados y trabajan en turnos definidos. Con un historial podremos detectar las debilidades y fortalezas de cada uno de los operarios dentro de sus actividades. Esperamos con esta implementación detectar y definir bien las capacidades de los operadores para poder trabajar en sus capacidades con capacitaciones externas e internas.
Historial de operaciones	Los equipos dentro de los frentes tienen distintos tipos de actividades. Con un historial de trabajo podremos saber qué actividades son más favorables o más desgastantes para los equipos. Con esta información la empresa se podrá preparar mejor en las actividades difíciles que tenga que realizar.
Implementación del historial de máquinas	Para poder implementar como trabajar con el historial de máquinas hemos trabajado sobre un gráfico que plasma el circuito de esta actividad.

Figura 11. Ítems del expediente de mantenimiento de los equipos

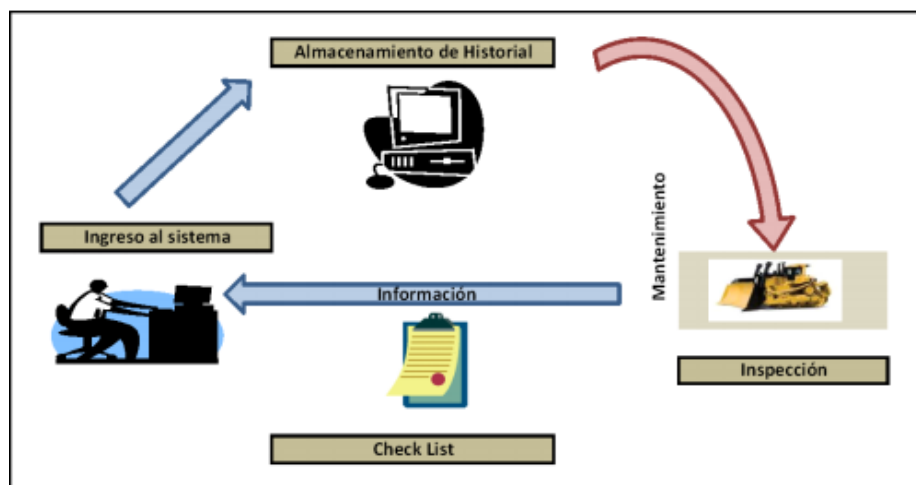


Figura 12. Actividades en la construcción, historial de las fallas de las máquinas

4.3.2. Modificar los Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo y todas las Actividades Involucradas

4.3.2.1. Gestión de Mantenimiento Preventivo

Dentro de esta gestión, hay dos tipos de mantenimiento: el preventivo, que se encarga de programar según las directrices de los manuales de mantenimiento, junto con las especificaciones técnicas y los consejos de los diseñadores de los equipos. El otro tipo de mantenimiento se denomina predictivo, y se basa en cálculos estadísticos y datos históricos para identificar posibles fallos futuros. Esto permite predecir los fallos mediante comprobaciones periódicas, lo que permite repararlos antes de que se produzcan.

A. Plan de mantenimiento preventivo

Se crea el plan anual de mantenimiento preventivo y se realiza un seguimiento mensual. El programa de mantenimiento se controla en función de las horas de funcionamiento de la máquina. Las especificaciones incluyen limpieza, reparaciones, lubricación, ajustes y calibraciones, entre otras cosas que permiten introducir información en el archivo de mantenimiento de cada equipo.

B. Plan de mantenimiento predictivo

La investigación sugiere este tipo de mantenimiento para prever fallos o averías. La distribución Erlang, una técnica estadística que determina la probabilidad de que una pieza de recambio se rompa o desgaste en función de los cambios de piezas de recambio en el pasado, se utiliza una vez construido un historial de fallos. La función que define este enfoque estadístico probabilístico está sujeta a cambios a lo largo del tiempo.

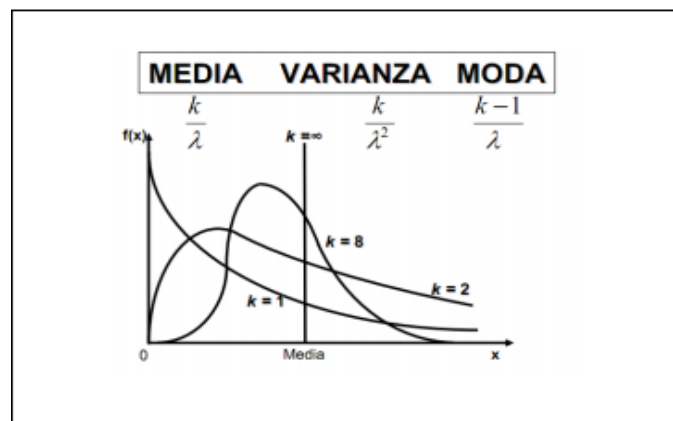


Figura 13. Distribución estadística Erlang para hallar probabilidad de ruptura o falla

La distribución Erlang se calibra para reflejar el historial real de las piezas de recambio. Los cambios relacionados con el desgaste se ven influidos por un tiempo de desgaste determinado, X , y posteriormente por los parámetros K y λ .

$$f(x) = \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!}; x > 0, k \in \mathbb{N}^+$$

«La suma de K variables independientes distribuidas exponencialmente con parámetro Gama es una V. A. con distribución Erlang con parámetros k y Gama.

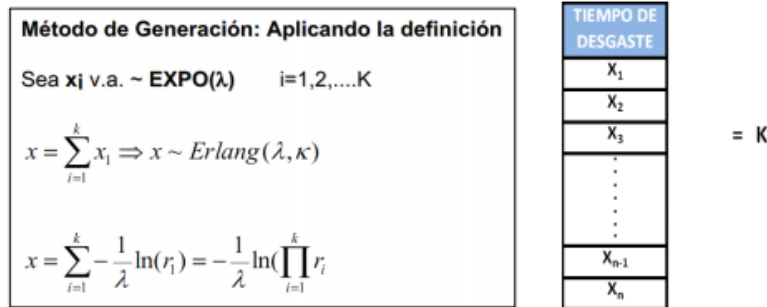


Figura 14. Método de generación

Este método sirve para determinar cuándo se deben realizar los mantenimientos predictivos para cada repuesto, establece en qué etapa de la vida útil del repuesto se encuentra. Se establecen las tres etapas, en la primera no se necesita mantenimiento, en la segunda se programan mantenimientos espontáneos y, finalmente, en la tercera se realiza el mantenimiento permanente.

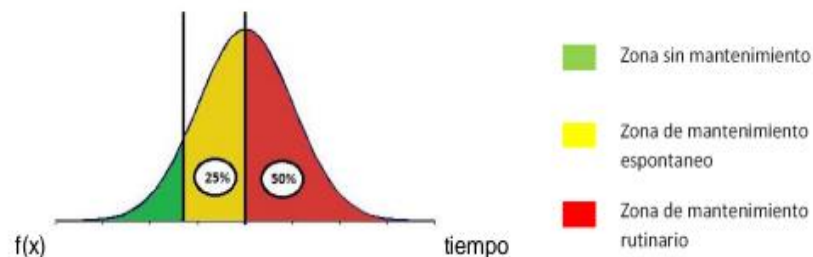


Figura 15. Distribución del desgaste para un repuesto

Zona sin mantenimiento: en esta zona la vida útil del repuesto es altamente nueva, por lo que no es necesario el mantenimiento.

Zona de mantenimiento: cuando la vida útil de una pieza de recambio se sitúa entre el 25 % y el 50 % de su potencial de fallo o rotura, se considera que ha habido mantenimiento. En cuanto al desgaste eventual, las empresas ya tienen que actuar con cautela. Deben empezar a planificar el mantenimiento preventivo de acuerdo con el plan previsto para ello.

Área de mantenimiento rutinario: Esta pieza de recambio debe utilizarse cuando la probabilidad de desgaste sea superior al 50 %. Esto se debe a que la vida media de la pieza de recambio ya ha superado las expectativas. La empresa debe planificar el mantenimiento preventivo antes de que se produzca el fallo para garantizar el funcionamiento.

4.3.2.2. Gestión de Abastecimiento de Recursos

A. Clasificación de los repuestos e insumos

Las piezas de recambio se clasifican en este subproceso para poder trabajar en la gestión de suministros. Los tipos de insumos o repuestos utilizados para el mantenimiento preventivo o correctivo, respectivamente, caracterizan la primera familia. De acuerdo con el plan de mantenimiento, es fundamental especificar los insumos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento preventivo.

En este sentido las actividades que se ejecutarán en función del mantenimiento preventivo se ven expuestas en la siguiente figura.

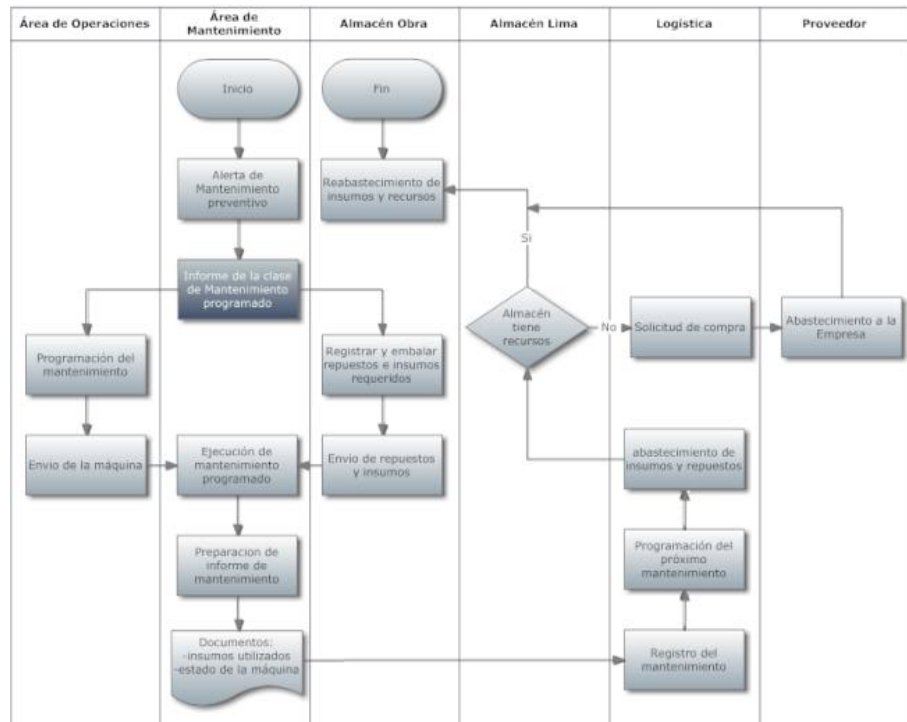


Figura 16. Flujograma del proceso de mantenimiento preventivo

4.3.3. Determinar los KPI de la Gestión de Mantenimiento

En esta fase se definirán los indicadores de rendimiento de la propuesta para la gestión del mantenimiento, que se refieren principalmente a la disponibilidad de los equipos.

1.- Disponibilidad total: es sin duda el indicador de mantenimiento más crucial, y también el que tiene mayor potencial de "manipulación". Es muy fácil de calcular si se hace correctamente, y para ello se utiliza la siguiente fórmula: es el producto del número de horas que un equipo ha estado disponible para la producción y el número total de horas en un periodo determinado.

$$Disponibilidad = \frac{\text{horas totales} - \text{horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

2.- Disponibilidad como consecuencia de averías: Este tipo de disponibilidad no tiene en cuenta las paradas programadas de los equipos.

$$Disponibilidad \text{ por averías} = \frac{\text{horas totales} - \text{horas paradas por averías}}{\text{Horas totales}}$$

3.- Índice de cumplimiento de la planificación: aunque utilizar este indicador tiene todo el sentido del mundo, muy pocas plantas lo hacen realmente.

$$\text{Índice de cumplimiento de la planificación} = \frac{N. \text{ de ordenes acabadas en la fecha planificada}}{N. \text{ de ordenes totales}}$$

4.- El porcentaje del total de horas dedicadas al mantenimiento programado que se conoce como índice de mantenimiento programado.

$$\text{IMP} = \frac{\text{Horas del mantenimiento programado}}{\text{horas totales del mantenimiento}}$$

Conclusiones

La realización de este proyecto permite establecer las siguientes conclusiones:

1. La situación actual del mantenimiento aplicado en la empresa a los equipos de los procesos de chancado y molienda, según los principios de la gestión del mantenimiento integral en una planta minera en el año 2021, se pudo demostrar que la gestión de mantenimiento en su mayoría puede ser calificada en un rango de deficiente a regular. Por lo tanto, se debe aplicar inmediatamente los procesos de planificación integral de mantenimiento.
2. Al realizar el análisis de la disponibilidad promedio se obtuvo el resultado de 90 % en los equipos, la misma solo sería incrementada si se corrigen los criterios mostrados en la tabla 5 en función a los requisitos de una gestión de mantenimiento integral. También se pudo comprobar que el comportamiento de la disponibilidad de los equipos, durante el estudio hubo cuatro equipos críticos que acumularon el 80 % de las fallas de todo el período de estudio lo cual representó 97 en total, las causas se suscriben bajo la responsabilidad de los resultados anteriormente expuestos y recaen en la gestión de mantenimiento en su mayoría.
3. Se rediseñó la gestión del mantenimiento en la empresa en función de mejorar la disponibilidad de los equipos de los procesos de chancado y molienda, poniendo el énfasis en el mantenimiento preventivo.

Recomendaciones

En función de cumplir con los objetivos de este proyecto, desde una perspectiva propia se aportan las siguientes recomendaciones.

1. Se aconseja elaborar un plan de mantenimiento industrial, identificar las piezas más vulnerables del equipo y saber exactamente qué hacer una vez iniciado el mantenimiento para maximizar la disponibilidad del equipo utilizado en los procesos de molienda y trituración. Dicho de otro modo, se trata de averiguar cuál es la razón subyacente de cada fallo. De este modo, se garantiza que no se pierda tiempo y energía tratando las causas en lugar de los síntomas.
2. Para aumentar la eficacia de las actividades de mantenimiento, se aconseja elaborar un plan de formación sobre el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, empezando por los más propensos a averías.
3. Se aconseja realizar un análisis exhaustivo de los consumibles y piezas de repuesto necesarios para cada mantenimiento con el fin de evaluar su eficacia, accesibilidad, asequibilidad y calidad.

Lista de Referencias

1. **GONZÁLEZ, Jesús, y otros.** *Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMEF*. Concepción : Universidad del Bio-Bio, 2018, Ingeniería Industrial , 17(3), págs. 209-225. SSN 0717-9103-ISSN Online 0718-830.
2. **PERCY, Chero.** *Sistema de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea (trackless) de la empresa Gestión Minera Integral SAC*. Lambayeque : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
3. **GASCA, Maira; CAMARGO, Luis; MEDINA, Byron.** *Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial*. 2017, Información Tecnológica, 28(4), pp. 111-124.
4. **GÓMEZ, Jonathan.** *Propuesta de mejorar la gestión de mantenimiento utilizando el sistema SAP para los equipos de chancado, molienda, flotación, filtrado y relaves de planta de beneficio de una empresa minero-metalúrgica, caso empresa minera Ares*. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2017.
5. **CABRERA, Henry, et al.** *Mejora de la disponibilidad en procesos a partir de la confiabilidad*. 2016, Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Vol. 7, pp. 18-33.
6. **BERGER, Esther; NUÑEZ, Luis; YARIN, Anwar.** *Análisis de la confiabilidad del sistema de molienda en una planta concentradora, basado en la criticidad*. 2014, Revista de la facultad de Ingeniería Industrial, 17(1), pp. 56-64.
7. **CALDERÓN, Gastón.** *Desarrollo de una política de mantenimiento para equipos de misión crítica en empresas de servicios IT*. Bogotá : Universidad ECCE, 2021.
8. **ESTUPIÑAN, Edgar; CORDERO, Oscar.** *Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización de la estrategia de mantenimiento en la planta Tostación de Cobre*. Pamplona : Universidad de Pamplona, 2019, BISTUA, 17(1). ISSN: 0120-4211/2711-3027.
9. **GUERRA, Esmilka; MONTES de Oca, Alexis.** *Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2018, Boletín de Ciencias de la Tierra, Vol. 45. ISSN 0120-3630.
10. **RAMÍREZ, Martín; VISCAINO, Paúl; MERA, Alvez.** *Evaluación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. 2018, Polo del Conocimiento, 3(3), p. 148.
11. **ROJAS, Rodrigo.** *Análisis y aplicación de modelo de gestión del cambio en la confiabilidad y mantenimiento de área de Gravilla y Pebbles en planta de cobre de minera Los Pelambres*. Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2017. Tesis de Grado.

12. **LÓPEZ, Esmilka; MONTES de Oca, Alexis.** *Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería.* 2019, Boletín de Ciencias de la Tierra, n.º 45, pp. 14-21.
13. **MANRIQUE, Hernán; SAMBORN, Cynthia.** *La minería en el Perú: balance y perspectivas de cinco décadas de investigación.* Lima : Universidad del Pacífico, 2021.
14. **CANFIELD, Murray.** Grupo Antofagasta Minerals. *Etapas del proceso de producción de una mina.* [Online] 06-07-2012.
<https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/04/01.-Etapas-del-Proceso-Productivo-de-una-Mina.pdf>.
15. **FLORES, Carol, et al.** *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013.* 2016, Ingeniería Industrial, Vol. 34, pp. 11-26.
16. **ESCAÑO, Juan; ANDRADE, Arturo.** *Sistemas de potencia.* Madrid : Paraninfo S. A., 2021.
17. **VILLAVICENCIO, Ebingen, et al.** *¿Cómo plantear las variables de una investigación? Operacionalización de las variables.* Cuenca : Universidad Católica de Cuenca, 2019, Revista OACTIVA, 4(1), pp. 9-14. ISSN 24778915. ISSN Elect. 2588-0624.
18. **RAJADELL, Manuel.** *Lean Manufacturing: Herramientas para producir mejor.* Madrid: Díaz de Santos, 2021. ISBN: 8490523614, 9788490523612.
19. **ESCAÑO, Juan; ANDRADE, Arturo.** *Sistemas de potencia.* Madrid : Paraninfo, 2021. ISBN: 8428341001, 9788428341004.
20. **HERRERA, Gustavo, et al.** *Gestión del mantenimiento y la industria 4.0.* Cusco : ECORFAN - Republic of Peru, 2020, Revista de Ingeniería Innovativa, 4(15), pp. 18-28. ISSN: 2523-6873..
21. **Enova.** Grupo Enova. *Gestión integral de mantenimiento industrial: ¿Por qué optimizar los planes de mantenimiento y las estrategias de fiabilidad (Parte 2).* [Online] Grupo Enova S. L., abril 30, 2017. [Cited: febrero 14, 2022.] <https://enovelevante.es/gestion-integral-del-mantenimiento-industrial-por-que-optimizar-los-planes-de-mantenimiento-y-las-estrategias-de-fiabilidad-parte-2/>.
22. **MATO, Miguel.** *Operaciones básicas de fabricación.* Madrid : Paraninfo, 2020. ISBN: 978-84-283-4090-8.
23. **ZEGARRA, Manual.** *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados.* Lima : Universidad Alas Peruanas, 2016, Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas, 19(1). ISSN-L 2304-8891.
24. **BUENAÑO, Luis; VILLAGRÁN, Wilson; SANTILLÁN, Carlos.** *Utilización de la auditoría de mantenimiento y el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) como herramientas para la identificación de problemas en la gestión de*

- mantenimiento de locomotoras en empresas de ferrocarriles*. Manabí : Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP), 2019, FIPCAEC, 2(4). 2588-090X.
25. **CANAHA, Nohemy**. *Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica*. Lima : UNMSM, 2021, Revista Industrial Data, 24(1), pp. 49-76. 1560-9146 (Impreso) / ISSN: 1810-9993 (Electrónico).
 26. **Rumbo Minero Internacional**. Metso: Outotec. *Chancadoras de cono*. [Online] Metso Outotec, 2022. [Cited: abril 2022, 01.] <https://www.mogroup.com/es/productos-y-servicios/plantas-y-equipos-de-capital/chancadores/chancadores-de-cono/>.
 27. **PEÑAFIEL, Danher**. Scribd. *Funcionamiento de la máquina chancadora giratoria*. [Online] Scribd, marzo 04, 2020. [Cited: abril 2022, 01.] <https://es.scribd.com/document/450144411/FUNCIONAMIENTO-DE-LA-CHANCADORA-GIRATORIA>.
 28. **SOTOMAYOR, Arístides**. *Tecnologías limpias: Medio ambiente y comercialización de minerales*. Lima : Universidad de Lima, 2018. ISBN 978-9972-45-457-8.
 29. **VALENZUELA, Patricio**. *Análisis de consumo eléctrico y propuesta de medidas de eficiencia energética en procesos de minería en Chile*. Santiago de Chile : Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.
 30. **CUATRECASAS, Lluís; GONZÁLEZ, Jesús**. *Gestión integral de la calidad: implantación, control y certificación*. Barcelona : Profit Editorial I., S. L., 2017. ISBN: 978-84-16904-79-2.
 31. **LOZADA, José**. *Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria*. 2014, CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica, 3(2), pp. 34-39.
 32. **CORONA, José**. *Apuntes sobre métodos de investigación*. 2016, Medisur, 14(1), pp. 87-88.
 33. **CISNEROS, José**. *La investigación filosófica desde la relación: una mirada panorámica a la luz de una propuesta metodológica*. Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2021, Tesis (Lima), 14(19). ISSN: 2707-6334/1995-6967.
 34. **NIÑO, Víctor**. *Metodología de la Investigación*. Bogotá : Ediciones de la U, 2019.
 35. **MAYTA, Carlos; SALAZAR, Inocente**. *Uso de herramientas TIC en investigación científica de los estudiantes de administración en la UNAS-Tingo María*. 2018, Universidad y Sociedad, 8(5), pp. 40-47. ISSN 2224-445X.
 36. **ARIAS, Jesús; VILLASIS, Miguel; MIRANDA, María**. *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. 2016, Revista Alergia México, 63(2), pp. 201-206.

37. **SÁNCHEZ, Maream; FERNÁNDEZ, Mariela; DÍAZ, Juan.** *Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo.* 2021, Uisrael revista Científica, 8(4), pp. 113-128.
38. **LÓPEZ, Esmilka; MONTES de Oca, Alexis.** *Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería.* 2019, Boletín de Ciencias de la Tierra, n.º 45, pp. 14-21.
39. **PERCY, Chero.** *Disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea (trackless) de la empresa Gestión Minera Integral SAC.* Lambayeque : Universidad Nacional Pedri Ruiz Gallo, 2019.

Anexos

Anexo 1

Instrumentos de recolección de información

Registro de información DELPHI		
Nombre del experto		
Cargo		
Fecha		
Interrogante:		
¿Cuáles son las principales deficiencias que evidencia la actual gestión de mantenimiento que afectan la disponibilidad de los equipos de chancado y molienda de la empresa?		
Ítem	Causa	Acción sugerida
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

12		
13		
14		
15		

Registros de TMEP del equipo: _____

$$\text{TMEP} = \text{HTP} / \text{NP}$$

Donde:

HTP, horas totales en el período

NP, número de paradas

Periodo		Horas totales en el período	Número de paradas	TMEP	Promedio
Ene-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Feb-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Mar-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				

	Semana 4				
Abr-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
May-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Jun-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Jul-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Ago-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				

Set-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Oct-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Nov-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Dic-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				

Registros de fiabilidad de los equipos					
Fiabilidad de las unidades de transporte					
Fiabilidad = (TPP-TTMNP)/TPP X 100					
Donde:					
TPP: Tiempo de producción programado					
TTMNP: Tiempo total de mantenimiento no programado					
Periodo		Tiempo de producción programado (horas)	Tiempo total de mantenimiento no programado (horas)	Fiabilidad (%)	Promedio
Ene-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Feb-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Mar-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				

	Semana 4				
Abr-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
May-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Jun-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Jul-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Ago-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				

Set-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Oct-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Nov-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Dic-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				

Registros de disponibilidad de los equipos

Disponibilidad de las unidades de transporte

$$A = (S-D)/S \times 100$$

Periodo		Tiempo de producción programado en días (s)	Total de tiempo muerto en días (d)	Disponibilidad (%)	Promedio
Ene-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Feb-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Mar-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				

	Semana 4				
Abr-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
May-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Jun-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Jul-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Ago-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				

Set-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Oct-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Nov-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				
Dic-21	Semana 1				
	Semana 2				
	Semana 3				
	Semana 4				

El presente instrumento tiene como alcance, conocer su apreciación su opinión sobre las características y condiciones de la gestión actual del mantenimiento que se aplica a los equipos de los procesos de chancado y molienda que la empresa ha estado aplicando. A continuación, se presentan una serie proposiciones en las cuales puede emitir su opinión, calificando cada una, con una escala del 1 al 5, como se indica a continuación.

Ítem	Proposición	Opciones				
		5Siempre	4Casi siempre	3Algunas veces	2Casi nunca	1Nunca
Dimensión Gestión						
1	La gestión del mantenimiento de los equipos de chancado y molienda se ejecuta bajo un plan integrado					
2	La planificación del mantenimiento contempla la integración de la prevención y corrección de fallas					
3	Se logra la conservación de la operatividad de los equipos al aplicar el plan de mantenimiento actual					
Dimensión Auditoría						

4	La gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda son aditados por la alta gerencia					
5	Las acciones preventivas y correctivas en la gestión de mantenimiento son monitoreadas mediante auditorias					
6	La gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda se ajusta a los resultados de una auditoria por la lata gerencia					
Dimensión Índices						
7	Se considera el índice de mantenibilidad para medir la gestión del mantenimiento de los equipos de chancado y molienda					
8	Se considera el índice de confiabilidad para hacer seguimiento a la gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda					
9	La mantenibilidad y la confiabilidad de los equipos de chancado y molienda son calculados de forma frecuente y periódica					
Dimensión Tercerización						

10	El mantenimiento a gran escala es realizado por un proveedor con capacidad y experiencia confiable					
11	Se lleva a cabo procedimientos para evaluar la gestión de mantenimiento de los proveedores					
Dimensión Controles						
12	La gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda, cuenta con controles integrados a todas las áreas involucradas en el proceso.					
13	Las mediciones realizadas a la gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda, se documentan bajo un procedimiento					
Dimensión Diagnóstico						
14	Se detectan de forma integral las debilidades de la gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda					
15	Se determinan de forma integral las fortalezas de la gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda					
Plan de Intervención						
16	Se aplican técnicas estandarizadas para detectar los problemas de la gestión de mantenimiento de los equipos de chancado y molienda					

17	Se resuelven los problemas de los equipos de chancado y molienda de manera integral con todo el personal involucrado					
18	Las acciones correctivas de los problemas detectados en los equipos de chancado y molienda son evaluadas de forma procedimental					

Anexo 2

Tabla de resultados del cuestionario

	Gestión				Auditoría				Índices				Tercerización			Controles			Diagnóstico			Plan de intervención					
	Item				Item				Item				Item			Item			Item			Item					
	1	2	3	Media	4	5	6	Media	7	8	9	Media	10	11	Media	12	13	Media	14	15	Media	16	17	18	Media	Media (pre)	Valor acumulado
Encuestado																											
1	3	2	4	3.00	2	3	2	2.33	4	4	5	4.33	3	4	3.50	4	4	4.00	4	4	4.00	3	3	4	3.33	3.50	62
2	2	2	3	2.33	3	2	3	2.67	4	4	2	3.33	4	3	3.50	3	4	3.50	5	4	4.50	4	3	3	3.33	3.31	58
3	2	3	2	2.33	3	4	4	3.67	4	4	3	3.67	5	4	4.50	3	4	3.50	4	3	3.50	5	3	3	3.67	3.55	63
4	3	2	4	3.00	4	4	4	4.00	4	3	4	3.67	3	2	2.50	4	4	4.00	5	4	4.50	5	3	4	4.00	3.67	66
5	4	2	4	3.33	3	3	4	3.33	3	4	3	3.33	3	3	3.00	4	4	4.00	4	4	4.00	2	4	5	3.67	3.52	63
6	3	3	3	3.00	4	2	2	2.67	4	4	3	3.67	3	4	3.50	3	4	3.50	4	4	4.00	4	4	3	3.67	3.43	61
7	4	1	3	2.67	3	2	4	3.00	3	2	4	3.00	3	3	3.00	4	3	3.50	4	4	4.00	3	4	3	3.33	3.21	57
8	3	2	2	2.33	4	4	2	3.33	4	4	5	4.33	4	3	3.50	4	3	3.50	4	4	4.00	4	4	5	4.33	3.62	65
9	2	3	3	2.67	3	4	2	3.00	5	5	4	4.67	5	4	4.50	3	4	3.50	3	3	3.00	4	4	5	4.33	3.67	66
10	3	3	4	3.33	3	2	3	2.67	5	3	2	3.33	3	2	2.50	4	4	4.00	4	2	3.00	4	4	3	3.67	3.21	58
11	2	2	5	3.00	3	2	4	3.00	4	2	2	2.67	2	3	2.50	4	3	3.50	4	4	4.00	4	3	4	3.67	3.19	57
12	3	3	4	3.33	2	3	2	2.33	4	4	2	3.33	3	4	3.50	4	4	4.00	5	4	4.50	4	4	3	3.67	3.52	62
13	4	2	3	3.00	3	3	3	3.00	2	4	4	3.33	2	5	3.50	3	4	3.50	3	4	3.50	4	3	3	3.33	3.31	59
14	3	2	2	2.33	2	2	2	2.00	4	3	2	3.00	3	3	3.00	4	3	3.50	4	4	4.00	4	3	4	3.67	3.07	54
15	2	3	3	2.67	3	3	3	3.00	4	2	4	3.33	2	5	3.50	4	3	3.50	4	4	4.00	3	5	4	4.00	3.43	61
Total	43	35	49	42.33	45	43	44	961	58	52	49	53	48	52	50	55	55	55	61	56	58.5	57	54	56	55.667	51.214	912
Promedio	2.9	2.3	3.3	2.82	3.0	2.9	2.9	2.93	3.9	3.5	3.3	3.53	3.2	3.5	3.33	3.7	3.7	3.67	4.1	3.7	3.90	3.8	3.6	3.7	3.7	3.41	
Mediana				3.00				3.00				3.33			3.50			3.50			4.00				3.67	3.43	